

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1921-1922. — N° 48

DE
LA MORT DU CŒUR
dans l'électrocution

Les électro-cardiogrammes

Travail du Laboratoire de Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie
de la Faculté de Médecine de Lyon

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 20 Décembre 1921

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

CHARLES FOUQUE

né le 27 Janvier 1896, à AIX-EN-PROVENCE



LYON-VILLEURBANNE

IMPRIMERIE DE LA CITÉ J. CHAMBEFORT

78, Cours de la République

1921

DE
LA MORT DU CŒUR

dans l'électrocution

Les électro-cardiogrammes

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1921-1922. — N° 48

DE
LA MORT DU CŒUR
dans l'électrocution

Les électro-cardiogrammes

Travail du Laboratoire de Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie
de la Faculté de Médecine de Lyon

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 20 Décembre 1921

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

CHARLES FOUQUE

né le 27 Janvier 1896, à AIX-EN-PROVENCE



LYON-VILLEURBANNE

IMPRIMERIE DE LA CITÉ J. CHAMBEFORT

78, Cours de la République

—
1921

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. HUGOUNENQ.
Doyen	MM. J. LEPINE.
Assesseur	ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, BEAUVISAGE, LACASSAGNE, TESTUT.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	{	MM. TEISSIER
Cliniques chirurgicales		ROQUE
Clinique obstétricale et Accouchements		BARD
Clinique ophtalmologique		TIXIER
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques		BERARD
Clinique neurologique et psychiatrique		X.
Clinique des maladies des enfants		ROLLET
Clinique d'oto-rhino-laryngologie		NICOLAS
Clinique des maladies des voies urinaires		LEPINE (J.)
Clinique chirurgicale des maladies des enfants		WEILL
Clinique des maladies des femmes		LANNOIS
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie		ROCHET
Chimie biologique		NOVE-JOSSERAND
Chimie organique et Toxicologie		POLLOSSON (A.)
Matière médicale et Botanique		CLUZET
Parasitologie et Histoire naturelle médicale		HUGOUNENQ
Anatomie		MOREL
Anatomie générale et Histologie		MOREAU
Physiologie		GUIART
Pathologie interne		LATARJET
Pathologie et Thérapeutiques générales		POLICARD
Anatomie pathologique		DOYON
Médecine opératoire		COLLET
Médecine expérimentale et comparée		MOURIQUAND
Médecine légale		PAVIOT
Hygiène		VILLARD
Thérapeutique		ARLOING (F.)
Pharmacologie		ETIENNE MARTIN
		COURMONT (P.)
		PIC
		FLORENCE (A.)

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe	VALLAS
» » Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN
» » Chimie minérale	BARRAL
» » Accouchements	COMMANDEUR
» » Urologie	GAYET

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Embryologie	HOVELACQUE
Anatomie topographique	PATEL
Botanique	BRETIN
Stomatologie	TELLIER

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER	GARIN	DUROUX	CORDIER
BRETIN	SAVY	HOVELACQUE	ROUBIER
LERICHE	FROMENT	TRILLAT	FAVRE
THÉVENOT (Léon)	THEVENOT (Lucien)	SARVONAT	MURARD
TAVERNIER	PIERY	FLORENCE (G.)	BONNET
CADE	COTTE	ROCHAIX	GRAVIER, chargé des fonctions.

M. BAYLE, secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. CLUZET, Président ; COLLET, Assesseur ;
MM. NOGIER et ROUBIER, Agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE GLORIEUSE
DE MON AMI ET CAMARADE DE COMBAT
ANGE FABRE

Soldat au 264^{me} Régiment d'Infanterie
Décoré de la Médaille militaire et de la Croix de guerre

Mort pour la France à son poste de combat
à LIHONS (Somme), le 9 Septembre 1916

AUX FANTASSINS
DES 173^{me}, 141^{me} et 264^{me} RÉGIMENTS
D'INFANTERIE

A LA MÉMOIRE
DE TOUS LES MÉDECINS AUXILIAIRES
ET SOUS-AIDES-MAJORS
MORTS POUR LA FRANCE

A LA MÉMOIRE DE MON ONCLE

LE DOCTEUR ELÉONOR FOUQUE

Chirurgien-Chef de l'Hôpital de Saïgon

Chirurgien de la "Couleuvre"

Chevalier du Grand Dragon Blanc

de l'Empire d'Annam

Sa vie, toute de travail et de
dévouement, fut pour nous un exem-
ple, et nous inspira le choix de
notre carrière.

A LA MÉMOIRE DE MON GRAND'PÈRE

A MA GRAND'MÈRE

Hommage de son petit-fils.

A MON PÈRE ET A MA MÈRE

Reconnaissant de tous les sacri-
fices qu'ils se sont imposés pour
moi, je dédie ce travail.

A MA FIANCÉE

En gage de joyeuse espérance dans
l'avenir de notre foyer prochain.

A MA SŒUR

A TOUS MES PARENTS ET AMIS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR J. CLUZET

*Professeur de Physique biologique,
Radiologie et Physiothérapie
à la Faculté de Médecine de l'Université de Lyon
Chevalier de la Légion d'Honneur*

Nous le remercions de nous avoir
inspiré notre sujet et de l'honneur
qu'il nous fait en acceptant la prési-
dence de cette thèse ; nous lui adres-
sons l'expression de notre reconnais-
sance et de notre profond respect.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR F. J. COLLET

*Professeur de Pathologie interne à la Faculté
de Médecine de Lyon
Médecin des Hôpitaux*

Respectueux hommage.

A TOUS MES MAÎTRES

A MES JUGES

AVANT-PROPOS

Avant d'aborder cette étude, nous adressons à tous nos maîtres, l'hommage de notre respect et de notre reconnaissance.

M. le professeur Cluzet, professeur de physique biologique, radiologie et physiothérapie à la Faculté de Médecine de Lyon, a bien voulu accepter la présidence de notre thèse ; c'est à lui que nous devons notre sujet. Dans la première année d'études que nous fîmes à Lyon, nous trouvâmes pour l'enseignement de la physique médicale des moyens de travail nombreux et précis et une installation expérimentale d'une importante organisation. Plus tard, nous avons reçu chez notre maître l'accueil le plus bienveillant. Son laboratoire nous a été ouvert et nous avons trouvé dans son enseignement et ses conseils les précieux moyens de mener à bien la préparation de notre travail. Nous le prions d'agréer ici l'expression de tous nos remerciements et de notre profonde gratitude.

C'est en collaboration avec M. le Docteur Bonnamour, médecin de l'hôpital Saint-Louis, et M. le Docteur Kofman, préparateur de recherches au laboratoire de physique biologique, qu'eurent lieu les expériences d'électrocution et d'électro-cardiographie qui ont fait l'objet de notre thèse ; ils ont bien voulu nous donner toutes les explications sur les opérations qu'ils pratiquèrent et sur les conditions expérimentales, et nous les en remercions sincèrement.

Au cours de l'élaboration de notre travail, nous avons pu apprécier l'amabilité de M. le Docteur Mazel, chef des travaux au laboratoire de médecine légale de la Faculté de Médecine de Lyon, qui a bien voulu se mettre à notre disposition pour guider nos recherches, et qui a grandement facilité notre tâche dans l'exposé de nos considérations médico-légales. Nous lui devons une grande reconnaissance.

INTRODUCTION

Nous avons divisé notre travail en trois parties.

Dans la première, dans un premier chapitre, nous avons rassemblé tous les éléments résultant des expériences antérieures. Nous rappelons l'action des courants, suivant leur nature, leur intensité, leur voltage et les conditions dans lesquelles ils agissent.

Dans le chapitre suivant, nous étudions la physiologie de la vie et de la mort du cœur. Considérant ensuite les troubles de la coordination cardiaque, nous insistons sur ceux que produit l'électrocution et la mort de l'organisme et, en particulier, la mort du cœur par l'électricité font l'objet de notre troisième chapitre.

Ici, prend place, dans la deuxième partie, la description de la technique de l'électrocardiographie en général, suivie de la description d'un appareil de contention des animaux pour la prise des électrocardiogrammes, et de la technique de l'électrocution dans les expériences que nous présentons, accompagnées elles-mêmes d'observations relatives aux animaux.

Les résultats nous conduisent à exposer, dans la troisième partie, des considérations médico-légales sur la valeur des électrocardiogrammes dans les cas de mort apparente, et sur l'application légale de l'électrocution aux criminels, en Amérique, comme peine de mort.

Enfin, l'exposé des divers moyens employés pour secourir les électrocutés et une étude du massage cardiaque, précèdent nos conclusions.

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE I

Historique

Les premières expériences relatives à la mort par l'électricité s'appliquèrent à la fulguration. En 1766, Priestley, ayant utilisé des décharges électriques sur des chats et des rats, constata la mort sans lésions appréciables. Felice Fontana émit l'hypothèse que l'électricité tuait par abolition de l'excitabilité musculaire, en constatant l'arrêt du cœur sous l'influence de la décharge de la bouteille de Leyde. Mais l'intérêt que présentait l'étude du mécanisme de la mort dans les accidents dus à l'électricité, donna lieu à des expériences sur l'électrocution ; dans celles-ci, on a employé sur des animaux les mêmes courants que ceux qui déterminent les accidents de l'industrie électrique chez l'homme, et l'étude des résultats obtenus présenta ainsi plus d'analogie que les expériences de fulguration.

Au début du XIX^e siècle, Grange électrocute des chiens avec un courant de 800 volts ; la mort est immédiate et il l'attribue à des lésions bulbaires, hémorragies capillaires qui déterminent l'arrêt de la respiration et l'arrêt du cœur par excitation du centre du pneumogastrique.

En 1886, D'Arsonval établit par ses recherches que le courant électrique continu produit la mort par l'un des deux moyens suivants : 1^o Par action directe, les tissus

étant soumis à l'action du courant ; 2° Par réflexe, ou action indirecte affectant les centres nerveux. Dans le premier cas, dit-il, la mort est absolue. Dans le deuxième cas, la restauration est possible par la respiration artificielle, à condition que l'on arrive auprès de la victime tout de suite après l'accident.

En 1889, Brown, Kermely et Peterson, expérimentant sur des chiens, un cheval et deux veaux, avec des courants alternatifs de tension variant entre 160 et 800 volts, obtiennent chaque fois la mort instantanée, en appliquant le courant pendant au moins une seconde : ces expériences étaient instituées dans le but d'étudier l'application de l'électrocution aux criminels, mais ils n'ont pas cherché à se rendre compte du mécanisme de la mort.

En 1890, Tatum, après de nombreuses expériences sur des chiens, conclut que les nerfs et les muscles restent excitables ; le sang n'est pas modifié ; la mort est surtout due à l'arrêt du cœur et on ne constate aucune lésion importante à l'autopsie. Un courant faible peut arrêter le cœur sans trouble apparent de la respiration. Un courant de 1 ampère peut arrêter en même temps le cœur et la respiration. Sur les chiens employés, l'auteur sectionne les nerfs vagues ou administre de l'atropine. Le cœur s'arrête comme chez l'animal à pneumogastriques intacts. Il conclut au rôle négatif de l'inhibition des centres extrinsèques du cœur ; il s'agit d'action directe du courant sur cet organe. Mais il ne sait comment expliquer cette action et ne parle pas du courant employé.

La même année, Doulin émet l'opinion que le courant altère d'abord le sang, et les lésions du système nerveux

sont consécutives à cette altération. Mais ces prétendues altérations du sang n'ont jamais pu être constatées.

Kratter expérimente sur des animaux, rats, cobayes, lapins, chiens, avec des courants alternatifs, et conclut que la mort est due à la paralysie du centre respiratoire et à l'asphyxie qui en est la conséquence ; il signale comme facteur important de la mort la durée du contact et l'espèce animale ; les cobayes et les lapins résistent mieux au « choc » électrique que les chiens. Sur les rats, Kratter n'expérimente qu'avec une faible tension (100 volts) et la durée nécessaire du contact est ici de 30 secondes pour amener la mort. Avec une tension plus élevée (1.300 volts), il inscrit la pression artérielle chez trois lapins. Celle-ci subit d'abord une élévation considérable suivie de chute momentanée. Dans les cas où la respiration ne se rétablit pas, la pression ne tarde pas à tomber à zéro et le cœur cesse de battre. A l'autopsie, l'auteur ne trouve pas de lésions constantes ; au microscope, pas de changement appréciable des cellules nerveuses. Elles doivent donc subir des changements moléculaires qui suspendent leurs fonctions.

Quelques années plus tard, les expériences continuent avec Oliver et Bolam (1898) Corrado (1899). Ces auteurs, avec des courants à 200 volts, constatent la mort immédiate du cœur pendant que la respiration continue. Cunningham, en 1899, constate chez le chien que la mort par l'électricité est due à l'apparition des trémulations fibrillaires du cœur. Il a même dit que les trémulations pouvaient être produites également par des courants à haute tension, mais les courants dont il s'est servi ne pouvaient fournir qu'une faible intensité et n'étaient donc pas des courants industriels.

Mais les expériences de Prevost et Batelli nous apportent des éléments plus précis. Ces physiologistes observent et mentionnent que les courants à basse tension produisent l'apparition des trémulations fibrillaires du cœur, qui n'apparaissent pas avec les courants à haute tension ; ceux-ci, par contre, inhibent les centres nerveux. Ces auteurs ont ainsi expliqué la cause des différences entre les résultats obtenus par les expérimentateurs précédents. Par plusieurs centaines d'expériences chez diverses espèces animales, Prevost et Batelli déterminent le mécanisme de la mort par les courants électriques et précisent les conditions expérimentales. Ils ont établi une courbe de la mort chez le chien, pour expliquer les effets très différents suivant leur tension et suivant leur fréquence, des courants alternatifs. La fréquence représente le nombre de périodes par seconde. La courbe indique les fréquences qui produisent la mort de l'animal pour les diverses tensions. Les forces électro-motrices exprimées en volts sont portées sur la ligne des ordonnées allant de 0 à 100. Les fréquences sont portées sur la ligne des abscisses, allant de 0 à 250. On y constate que la fréquence est nulle pour un voltage de 70 volts ; et que le plus bas voltage pouvant produire la mort est de 20 volts, alors que la perpendiculaire abaissée sur la ligne des abscisses, tombe pour ce voltage entre 50 et 100, nombre de périodes entre lesquels le courant alternatif est le plus dangereux. Et dans l'industrie, c'est là la fréquence des courants employés, ce qui les rend très dangereux, et l'on doit considérer comme des exceptions les cas où des ouvriers ont pu sans inconvénient toucher des canalisations à 2.500 volts.

Le mécanisme de la mort dépend des conditions expérimentales dans lesquelles on se place. Dans la mort par inhibition, par courant à haute tension (alternatif de 1.200 volts), une électrode sur la tête, l'autre sur une jambe, avec de bons contacts, il y a d'abord arrêt de la respiration et le cœur ne s'arrête qu'à la suite de l'asphyxie. Dans la mort par arrêt du cœur, un courant de basse tension, 120 volts, suffit, passant de la tête aux pieds avec bons contacts. Les centres nerveux sont peu affectés ; l'animal respire encore pendant quelque temps. Cet arrêt du cœur est marqué par l'apparition des trémulations fibrillaires, contractions spéciales qui apparaissent chez tous les animaux, pendant le passage d'un courant à basse tension. Si l'on interrompt le courant d'électrocution, les oreillettes reprennent leur rythme, mais les ventricules restent en trémulation, ceci chez le chien et le chat, ou reprennent leur rythme, comme chez le rat. Les chiens et les chats meurent presque toujours, la paralysie du cœur étant chez eux définitive ; les cobayes adultes ne meurent pas toujours ; les lapins rarement, et les rats jamais, à condition que le contact ne dure que quelques secondes.

Quant aux courants à tension moyenne, alternatifs de 240 à 600 volts, passant de la tête aux pieds avec bons contacts, ils produisent chez le chien la paralysie du cœur en trémulations fibrillaires et souvent l'arrêt absolu de la respiration. En ce qui concerne les conditions physiques expérimentales, Prevost et Batelli ont noté qu'il faut tenir compte de l'intensité. En effet, les courants des grosses bobines d'induction ne produisent pas d'accidents graves, malgré leur grande tension, parce que l'intensité est trop faible. Il ne suffit pas d'évaluer l'intensité totale du cou-

rant qui traverse le corps de l'animal ; ce qui importe, c'est d'évaluer la densité électrique dans chaque organe, c'est-à-dire l'intensité dans l'unité de surface de l'organe examiné. Pratiquement, la densité est déterminée par les points d'application des électrodes et la taille de l'animal. Elle est maxima au point d'application et ailleurs elle est la plus grande dans l'espace intrapolaire, c'est-à-dire dans les parties du corps qui sont sur la ligne qui réunit les électrodes ; elle diminue dans le trajet extrapolaire. Chez les petits animaux, elle est plus grande que chez les gros si l'intensité est la même. La durée du contact a également une grande influence sur les effets du courant. Le cœur est pris de trémulations quand la densité du courant qui le traverse est faible et seulement dans ce cas. Ainsi, un courant alternatif, 240 volts, arrête le cœur du chien en trémulations fibrillaires si l'on place une électrode dans la bouche et une dans le rectum, alors qu'elles n'apparaissent pas si une électrode est appliquée directement sur le cœur mis à nu. Quand la densité dans le cœur est élevée, celui-ci s'arrête en diastole pendant le passage du courant. Ce phénomène est aisément constaté avec un courant de 240 volts appliqué directement sur le cœur du chien chez lequel on fait la respiration artificielle. Pendant le passage du courant, les oreillettes et les ventricules restent immobiles, en diastole. A la rupture, les ventricules rebattent si le contact n'a pas duré plus de quatre à cinq secondes. S'il a duré 10 à 15 secondes, ils restent quelques secondes en diastole avant de rebattre ; les contractions sont plus fréquentes qu'à l'état normal, avec paralysie momentanée du nerf vague. Les oreillettes, souvent en diastole un instant si la durée du contact est un peu prolongée, rebattent. Dans

les mêmes conditions, un courant de 120 volts seulement produit des trémulations pendant son passage, et celles-ci persistent après la rupture, le cœur ne reprend pas son rythme. Ces différents effets se produisent chez tous les mammifères, mais le voltage nécessaire pour l'apparition des trémulations varie suivant la taille de l'animal et le point d'application des électrodes.

D'après d'autres expériences de Prevost et Batelli, les courants alternatifs à haute tension, 2.400 volts, allant de la tête aux pieds, ont la propriété remarquable de faire réapparaître le rythme chez le cœur trémulant. On peut obtenir le même effet chez le chien, avec un courant de 240 volts, une électrode étant placée sur le cœur. Les trémulations fibrillaires cessent au moment où l'on établit le contact. Le cœur, immobile en diastole, reprend son rythme à la rupture, et l'énergie des contractions ventriculaires n'est pas affaiblie. Toutefois, si la densité devenait trop grande, les battements seraient affaiblis ou arrêtés et les ventricules deviendraient rigides (Exemple : Rat, 240 volts, 3 ou 4 minutes, une électrode au rectum, une sur le cœur mis à nu).

En 1902, Arloing, dans une étude sur la contribution à la connaissance de l'action des courants électriques continus à haut voltage chez les chevaux, conclut que l'opinion d'après laquelle ces animaux sont très sensibles à l'action du courant est exagérée.

En 1910, Besson étudie les cas non suivis de mort dans l'électrocution et les explique par « l'isolement » de l'organisme au premier contact, isolement créé par les réactions de la peau, lésions et dégagement de produits volatils par carbonisation à l'entrée du courant.

Plus près de nous, M. D'Halluin étudie l'action des courants électriques, insiste surtout sur ceux à basse tension, expliquant le mécanisme de la mort du cœur par l'apparition des trémulations fibrillaires ; il recherche les effets du massage cardiaque et les résultats de la thérapeutique qui doit lui être associée.

L'explication des actions variées du courant sur le cœur est difficile. Elle est liée à la connaissance de la nature intime des trémulations fibrillaires et du rythme normal du cœur.

CHAPITRE II

De la vie et de la mort du cœur

Parmi tous les organes vitaux, c'est au cœur qu'incombe la tâche mécanique la plus complexe et la plus difficile. Depuis les premiers jours de la vie embryonnaire et pendant toute la vie, le cœur ne peut interrompre sa besogne sans qu'immédiatement la mort ne s'ensuive.

Puisque tous les troubles sont liés à la connaissance du rythme cardiaque, nous allons étudier ce rythme cardiaque avant d'examiner les troubles dûs à l'électrocution. Les phénomènes électriques liés à la contraction cardiaque seront étudiés dans le chapitre de l'électrocardiographie. Les propriétés du muscle cardiaque sont celles du tissu musculaire en général. Si l'on sectionne la pointe du cœur d'une grenouille, elle reste normalement immobile ; mais les excitations appropriées en réveillent la contractibilité. L'irritabilité est mise en jeu par les excitants ordinaires du muscle, mécaniques, physiques, chimiques, dont l'un est particulièrement efficace, c'est la pression ou distension exercée sur les parois intracardiaques, fait observé et démontré par l'expérience de Dastre sur les cœurs conjugués. L'excitabilité doit être distinguée de l'excitation. De même qu'un corps détonant est explosible, c'est-à-dire excitable, et qu'il faut pour l'explosion une excitation, de même le muscle cardiaque possède la propriété de se contracter, mais la contraction n'apparaît qu'après une excitation ; celle-ci se produit normalement dans certaines régions du cœur ; c'est une excitation chro-

notrope, c'est-à-dire se produisant régulièrement, survenant à des intervalles de temps égaux.

Comment le muscle cardiaque répond-il aux divers excitants ? C'est évidemment par la contraction, la systole, mais celle-ci diffère de la réponse du muscle strié ordinaire. Lorsqu'on excite celui-ci, il exécute un mouvement brusque appelé secousse. Un choc mécanique soudain, le dépôt d'une goutte de solution acide à sa surface, une décharge de condensateur, provoquent de même une réaction du muscle cardiaque, c'est-à-dire une systole. Mais, l'intervalle mesurable qui sépare le moment de l'excitation du début de la réaction, et que l'on appelle le temps perdu, est plus long ; la durée de la période d'ascension et la descente sont également plus longues. Ces différences ne suffiraient pas à donner à la systole un caractère particulier pour la distinguer des autres réactions musculaires, car ce ne sont que des différences de degré et de nature. Mais il en est de plus caractéristiques :

A) Lorsqu'on fait varier, en excitant un muscle ordinaire, l'intensité d'une excitation électrique, la « secousse » est plus ou moins forte. Pour le cœur, elle est maxima ; suivant l'expression de Ranvier, le cœur donne « tout ou rien ». Que l'on emploie un choc de fermeture du courant, un choc d'ouverture, une décharge de condensateur ou un choc isolé d'induction, la réaction est la même. Lorsqu'une excitation est suffisante pour provoquer la systole, lorsqu'on a atteint le seuil de l'excitation, d'ailleurs élevé pour le cœur, celui-ci ne donne pas de systole plus ample avec une augmentation de l'intensité. Dès le seuil de l'excitation, la réponse du myocarde est maxima. Il ne faudrait pas cependant en déduire que le cœur ne peut donner de sys-

tole plus ample. On peut obtenir des systoles en escalier, comme l'a montré le physiologiste américain H. P. Bowditch, lorsqu'on soumet le cœur à des excitations rythmées.

B) Le muscle cardiaque ne peut être mis en tétanos parfait, les secousses répondant à des excitations électriques suffisamment fréquentes étant incomplètement fusionnées. Dans des conditions particulières, et simplement chez des animaux à sang froid, le tétanos peut être obtenu quand la température du cœur a été élevée à 40° ou sur des animaux ayant subi certains empoisonnements, notamment par le sulfure d'allyle ou la muscarine. Sur le cœur des mammifères, on n'observe pas de tétanos suivi du retour à l'état normal, mais un phénomène particulier quelquefois comparé à un tétanos dissocié. Nous reprendrons plus loin la discussion de cet état de choses en exposant les effets de l'électrocution sur le cœur.

C) Lorsque le myocarde a été excité, le nombre des excitations n'a aucune action sur le mode de la réponse, car ce muscle répond suivant un mouvement qui lui est propre, et que l'on a appelé le rythme du cœur. Il existe donc une indépendance relative des réactions vis-à-vis des excitations. Marey et Kronecker ont montré qu'il existe comme cause de ce fait une « période réfractaire », que pendant tout le temps que dure la systole, le cœur est inexcitable. Toute excitation est inefficace si elle tombe sur le cœur au début de la systole ou en pleine systole des ventricules. Ce n'est que pendant la diastole que le cœur est excitable, d'autant plus que, partant du début du relâchement ventriculaire, on s'achemine vers la fin de la diastole. C'est là la loi d'inexcitabilité périodique du

cœur ou de la variation périodique de l'excitabilité du cœur. Dans certaines conditions, la phase réfractaire du cœur peut être influencée : allongement par le froid et la fatigue, diminution de sa durée par l'élévation de température, condition dans laquelle l'excitabilité se trouve augmentée... Cette loi se vérifie pour l'oreillette comme pour le ventricule.

Sans vouloir discuter ici la nature même de la systole cardiaque, c'est-à-dire savoir si, comme dans la contraction d'un autre muscle, il y a une série de secousses élémentaires fusionnées ou si au contraire la systole ventriculaire consiste en réalité en une secousse élémentaire, nous dirons en résumé que le muscle cardiaque reçoit des excitations périodiques, ce que les physiologistes ont appelé la propriété chronotrope ; il est doué d'excitabilité (propriété bathmotrope) ; de conductibilité (propriété dromotrope) ; de contractilité (propriété inotrope) et de tonicité, et qu'il répond aux excitations d'après un rythme qui lui est propre.

Toutes ces propriétés, et en particulier le rythme du cœur sont-elles dépendantes de l'influence du système nerveux ou de la structure du cœur lui-même ?

Un exposé détaillé de l'innervation extrinsèque et de l'innervation intrinsèque du cœur, de même que le détail des expériences destinées à appuyer les arguments des physiologistes en faveur de l'une ou l'autre de ces origines, ne saurait trouver sa place dans ce travail. Certains auteurs sont partisans de la théorie neurogène ; ils font valoir l'influence des nerfs du cœur et des ganglions cardiaques ; ceux-ci, disent-ils, s'ils n'existent que chez les animaux à sang froid, sont analogues aux amas ganglion-

naires qui existent chez l'homme au niveau de la cloison auriculo-ventriculaire, et des oreillettes dans le sinus interauriculaire. Ces auteurs emploient comme argument le fait de l'action importante du système nerveux sur la contraction et le rythme cardiaque, c'est-à-dire : 1° Ralentissement et arrêt du cœur par excitation du nerf vague, accélération par sa paralysie ; 2° Action opposée du grand sympathique : tachycardie intense par son excitation ; prédominance du pneumogastrique par sa paralysie.

D'autres auteurs, partisans de la théorie myogène, font valoir que la conductibilité et la contractilité sont des propriétés inhérentes au muscle cardiaque, puisqu'elles existent chez l'embryon, avant que nerfs et muscles soient différenciés, dans les premières phases du développement, et que, d'autre part, le cœur isolé dans lequel on fait circuler un liquide approprié continue à se contracter rythmiquement.

Richet nous dit, à propos du système ganglionnaire et nerveux, dans ses rapports avec la contraction et le rythme cardiaque : « Cette élite de nos organes cellulaires ne jouerait qu'un rôle tout à fait secondaire, presque celui de parasites du cœur, et les fibres musculaires qui, jusqu'à présent, n'étaient considérées que comme productrices du travail mécanique dans l'organisme, seraient chargées elles-mêmes de remplir les fonctions régulatrices et réparatrices du cœur. C'est d'elles que partiraient les excitations ; ce sont elles qui les conduiraient, les subiraient, et y répondraient par des contractions rythmiques. »

William ajoute qu'il n'est pas encore démontré que le rythme soit dépendant de la fonction des cellules nerveuses ou des cellules musculaires et on ne saurait pré-

ciser s'il est nerveux ou myogène. Cet auteur admet pourtant comme possible que dans le cœur du mammifère, la contraction rythmique prenant naissance près de l'extrémité terminale des grandes veines soit de nature myogène.

Mais connaît-on pour cela la cause essentielle des contractions du cœur ? Ce qu'il s'agirait d'expliquer à ce propos, c'est la permanence du rythme cardiaque, dépendant de la succession ponctuelle de diverses fractions de temps, à savoir :

1/10^e de seconde pour la systole auriculaire.

3/10^e de seconde pour la systole ventriculaire.

4/10^e pour la diastole auriculo-ventriculaire.

la durée de chaque révolution cardiaque étant de 8/10^e et le cœur battant régulièrement chez l'homme de 70 à 75 fois par minute.

Dans les conditions normales, le cœur ignore l'épuisement.

Dans un muscle isolé de l'organisme, et amené à la fatigue par d'incessantes excitations artificielles, on observe les mêmes phénomènes que dans un muscle dont l'activité automatique finit graduellement par la mort ; les processus de désassimilation finissent par l'emporter sur les processus d'assimilation, et en plus les déchets s'accumulent, qui résultent de son fonctionnement. Dans le tracé complet de la fonction rythmique d'un cœur extrait de l'organisme, on observe la graduelle décroissance de hauteur de l'ensemble des contractions, jusqu'à la cessation complète de tout mouvement. En réunissant les sommets systoliques de toutes ces contractions par une ligne imaginaire, on obtient une courbe de la fatigue progressive du muscle cardiaque, phénomène très appré-

ciable dans un cœur qui n'a que quelques heures de survie.

Si la fatigue amène la mort du muscle cardiaque, il est d'autres conditions importantes dans l'étude de cette mort, et nous allons sommairement en exposer les principales causes. Tout d'abord, c'est l'arrêt du cœur par phénomène réflexe car toute impression sensible retentit sur le cœur, et si les excitations faibles amènent une accélération, par contre les excitations fortes et brusques produisent le ralentissement du cœur ou son arrêt en diastole. L'excitation électrique du bout central des nerfs sensitifs (par exemple du nerf sciatique) produit le même effet. Toutes ces excitations se propagent jusqu'aux centres bulbo-médullaires, où elles sont transformées, puis réfléchies sur les nerfs modérateurs. Le réflexe d'arrêt, de quelque excitation qu'il soit le résultat, est particulièrement important. Il a fréquemment son point de départ dans les organes qui tiennent leur innervation des pneumogastriques ou des splanchniques. Ainsi, l'excitation de la muqueuse trachéale, laryngée (N. laryngé supérieur) ou pulmonaire peut provoquer l'arrêt du cœur (action des vapeurs irritantes). L'influence des impressions sensitives, portées sur l'estomac ou sur l'intestin n'est pas moindre (expérience de Goltz, 1862) ; et l'on sait qu'un coup violent à l'épigastre, chez l'homme, amène une syncope qui peut être mortelle (cas de mort sans lésions apparentes, par inhibition) ; l'étude de ce phénomène fait actuellement l'objet de la préparation d'un travail de notre camarade Th. Hoarau.

Tel est encore, l'arrêt diastolique qui survient parfois au début de la chloroformisation chez des animaux ou

des individus dont le système pneumogastrique est particulièrement excitable. Il résulte des expériences faites par M. le Professeur Cluzet et son élève Petzétakis (1914), avec le contrôle de l'électrocardiogramme, que le chloroforme agit profondément sur le cœur ; outre une accélération initiale et un ralentissement consécutif considérable, il provoque des modifications du rythme fondamental. Il a une action sur la conductibilité cardiaque en prolongeant la durée de transmission de l'excitation (block partiel) ou en créant une dissociation auriculo-ventriculaire, ou en donnant pendant le block partiel des pauses ventriculaires ou des pauses totales dont la durée peut dépasser six secondes. Le ralentissement s'accroît et arrive à 50, 40 contractions par minute avec fréquentes pauses complètes, véritables arrêts du cœur.

M. le Docteur Bonnamour a obtenu chez l'animal, par l'injection de strophantine, des troubles cardiaques graves conduisant à l'arrêt du cœur et se manifestant sur les tracés électrocardiographiques par de grandes oscillations analogues à celles que donnent les trémulations dans le cas d'électrocution.

Les excitations qui se produisent dans le domaine du trijumeau agissent seulement sur le pneumogastrique et amènent toujours un ralentissement des battements du cœur. C'est aussi par une excitation du trijumeau se transmettant aux origines du pneumogastrique que s'explique le ralentissement du cœur à la suite de la compression du globe oculaire ; c'est là le réflexe oculocardiaque. Sur un chien rendu bradycardique par section de la moëlle à la hauteur de la 7^e cervicale, pour supprimer en partie l'action accélératrice du sympathique, M. le

Professeur Cluzet et son élève Petzetakis ont obtenu, par pression sur un ou sur les deux globes oculaires, une action sur l'oreillette et sur le ventricule, amenant, comme le montraient les électro cardiogrammes, des pauses totales pouvant aller jusqu'à l'arrêt définitif du cœur.

La veinosité exagérée du sang excite d'une façon prédominante les centres modérateurs du cœur. Sur un animal en voie d'asphyxie, le cœur se ralentit.

Si un vaisseau coronaire devient imperméable, le cœur, impuissant à résister à l'anémie qui en résulte, s'arrête, par privation de sang oxygéné et chargé des matériaux qui sont les excitants de sa contraction. Dans la ligature d'un gros tronc coronaire, une à deux minutes après la ligature, les ventricules présentent des secousses fibrillaires, trémulations, phénomène qui se continue jusqu'à l'arrêt du cœur, car les ventricules, retenons ce fait, meurent toujours à la suite de ces trémulations. Celles-ci sont le plus souvent le résultat de la fibrillation des oreillettes, qui peut cependant se trouver isolée, comme l'ont montré des électro cardiogrammes pris chez des malades atteints d'arythmie perpétuelle, ou comme on l'observe chez un malade qui a un rétrécissement mitral, à la période d'insuffisance cardiaque : « Cœur rapide, désordonné, écrit Th. Lewis, exemple frappant de la fibrillation auriculaire. »

Les diverses parties du cœur ne possèdent pas toutes la même vitalité. Kuliabko a montré, en effet, sur le lapin, que quelques jours après la mort, quatre ou cinq, on peut encore voir se produire des contractions de tout le cœur, si l'on établit une circulation artificielle avec le liquide de Ringer-Locke.

Lorsque la mort du cœur arrive, c'est le ventricule gauche qui cesse d'abord de battre ; le ventricule droit s'arrête ensuite, tandis que les oreillettes battent longtemps encore après l'arrêt des ventricules ; puis l'oreillette gauche s'arrête, et la droite, qui a battu le plus longtemps, *ultimum moriens*, s'arrête à son tour ; et à ce moment les embouchures des grosses veines se contractent encore, dernière phase de l'agonie de l'organe.

Si donc, à l'état normal toutes les fibres musculaires du cœur s'unissent pour un commun effort, condition essentielle de la contraction rythmique, il est cependant des cas, nous venons d'en exposer quelques-uns, où le jeu de toutes ces fibres est profondément troublé et subit une incoordination complète. L'un de ces cas nous occupe tout particulièrement, c'est l'électrocution.

CHAPITRE III

Comment on meurt par l'électricité

L'électricité à dose trop forte, peut, comme tout agent physique ou chimique, causer des désordres graves dans l'organisme et même amener la mort. Ces accidents peuvent être produits par des décharges électriques naturelles (fulguration), ou par les décharges électriques industrielles (électrocution accidentelle, électrocution expérimentale, électrocution légale).

Rappelons : 1° Que le courant galvanique ou continu est le phénomène qui se passe le long d'un conducteur dont les deux extrémités sont maintenues à un potentiel différent par un générateur d'électricité. Ce courant est constant quand la différence de potentiel aux extrémités est elle-même constante. Les sources sont les piles primaires, les piles secondaires ou accumulateurs, les machines dynamos, qui fournissent un courant continu réglé soit par les rhéostats, soit par les réducteurs de potentiel. D'après la loi d'Ohm, l'intensité évaluée en ampères, est égale au quotient de la force électromotrice évaluée en volts par la résistance du circuit évaluée en ohms : $I = \frac{E}{R}$.

2° Que le courant alternatif est développé par induction dans un conducteur enroulé en spirale et soumis à un champ électro-magnétique dont l'intensité varie brusquement de zéro à un maximum, puis de maximum à zéro. Le courant alternatif est donc un courant périodique spécial dont l'intensité, complée positivement dans un sens et négativement dans l'autre, est alternativement positive ou

négative. Les sources sont les bobines de Rhumkorff, à bobine secondaire mobile et à fil gros, moyen, ou fin. Dans le courant de haute fréquence, le sens varie un très grand nombre de fois à la seconde (1 million, 1 billion et plus). La période est de l'ordre du millionième, du billionième de seconde.

En ce qui concerne les conditions nécessaires pour amener la mort, le courant continu n'offre pas un danger constitué uniquement par l'état variable de fermeture ou d'ouverture, mais par l'état permanent. Pour ce courant, plus la tension est élevée, plus le contact est prolongé, plus graves aussi sont les troubles nerveux. Pour le courant alternatif, celui-ci semble plus dangereux que le courant continu, surtout aux basses tensions. Ceux dont la force électromotrice ne dépasse pas 120 volts tuent par paralysie du cœur. Les troubles nerveux (convulsions toniques, puis cloniques) sont peu graves. La respiration reprend généralement après la cessation du courant, mais s'arrête bientôt, car le cœur a cessé de battre rythmiquement. Les ventricules subissent des trémulations, le sang n'est pas lancé dans les vaisseaux, la mort en est la conséquence. Nous avons vu qu'avec une force électromotrice élevée, la mort survient par arrêt de la respiration dû à l'inhibition du centre respiratoire ; nous ajoutons que le danger, qui commence autour de 50 périodes, croît à mesure qu'on se rapproche de 100 périodes.

Jellinek a établi une équation relative au travail absorbé par un individu traversé par un courant électrique. Ce travail dépend de :

- 1° La tension (force électromotrice exprimée en volts) ;
- 2° L'intensité (exprimée en ampères) ;

- 3° La résistance (exprimée en ohms) ;
- 4° Le temps de passage du courant (exprimé en secondes) ;
- 5° La direction du courant ;
- 6° Les pôles en contact et la région du corps traversée par le courant ;
- 7° La disposition individuelle du sujet ou l'influence de l'espèce animale.

Que l'un de tous ces facteurs varie, et c'est l'apparition de phénomènes plus ou moins graves. Les dispositions individuelles sont importantes. C'est d'abord la résistance de la peau, des vêtements, ou les conditions dans lesquelles se produit l'accident, un contact par surprise ou à l'état de veille ayant toujours des effets plus graves qu'un contact intentionnel ou survenant pendant le sommeil.

On a également constaté, bien que ce fait présente des exceptions, que la victime électrocutée par un courant continu était facilement séparée du conducteur métallique, tandis que dans le cas d'un courant alternatif, la main tétanisée par le premier choc, se contracte fortement, serrant plus fort le conducteur.

Les accidents dus à l'électricité sont de deux sortes : des phénomènes locaux et des phénomènes généraux. Les phénomènes locaux consistent surtout dans l'apparition des brûlures aux points qui ont été en contact avec le fil ou la pièce métallique chargés d'énergie électrique. La plaie, généralement à emporte-pièce à l'entrée du courant, entourée de phlyctènes sans réaction inflammatoire des tissus voisins, consiste, comme il a été observé dans certains cas, en de petites taches hémorrhagiques à l'extrémité par laquelle est sorti le courant. Rappelons, parmi ces accidents,

le coup de soleil électrique, et l'ophtalmie électrique, provoqués à distance par la vive lumière que produit dans certains cas la soudure électrique. Les phénomènes généraux résident surtout dans la perte de connaissance et de la sensibilité, tétanisation musculaire et troubles cardiaques et respiratoires ; dans les cas non mortels, on peut observer des troubles psychiques, des paralysies, de l'incontinence ou de la rétention d'urine, de l'hystérie. Nous avons noté, d'après les expériences de Prevost et Batelli, que les courants à faible tension tuent par arrêt du cœur et que les courants à haute tension tuent par inhibition. Kratter admet que les effets des courants électriques de haute tension résident avant tout dans un trouble fonctionnel des centres bulbaires de la respiration et de la circulation. Il a eu l'occasion de rédiger sur l'homme des observations, dans des accidents dus à l'électricité industrielle. Il s'agit de quatre individus qui perdirent connaissance dès qu'ils furent touchés ; dans les 24 heures qui suivirent l'accident, trois d'entre eux revinrent à eux ; mais ils conservèrent pendant des journées entières des vertiges, accompagnés d'une sensation de lassitude générale et de céphalalgie intense. L'auteur note que le fait de la perte de connaissance non suivie de mort dans la majorité des accidents, est une traduction clinique de l'ébranlement subi par le système nerveux central dans sa totalité. Il cite également trois accidents après lesquels il a eu l'occasion de faire l'autopsie des victimes. La première fut un ouvrier electricien, âgé de 26 ans, qui, pour constater le passage du courant, appliqua son index gauche sur un câble, alors qu'il était en train de monter un transformateur.

La tension était alors de 1.500 volts. Il fut trouvé râlant

à terre, quelques minutes après l'accident la figure sur le sol, et la mort survint quelques minutes après. L'autopsie révéla une rigidité cadavérique extrême ; des brûlures de l'index gauche et de la peau du dos, et, à l'ouverture, des hémorragies symétriques le long de la colonne cervicale et de la portion cervicale du pneumo-gastrique, comme autour des carotides. On nota de l'œdème aigu du poumon, et de l'anémie du muscle cardiaque. De par l'état veineux et fluide du sang, on conclut à la mort par asphyxie, résultant d'un processus asphyxique prolongé.

La seconde victime est un ouvrier électricien âgé de 22 ans. On nota également à l'autopsie de l'œdème pulmonaire, et des hémorragies des gaines des gros vaisseaux et nerfs de l'avant-bras gauche et du biceps.

La troisième victime est un ouvrier électricien, âgé de 48 ans, électrocuté par un courant de 2.000 volts. L'autopsie démontra également le rôle de l'asphyxie, mais la mort ayant été rapide, le processus asphyxique n'est pas allé jusqu'à l'établissement de l'œdème aigu du poumon ; la substance cérébrale et les méninges étaient gorgées de sang. Kratter, expérimentant sur des animaux, mentionne que dans les cas d'électrocution, la rigidité cadavérique est rapide, développée au maximum, et d'une durée extraordinaire. L'auteur prétend que l'absence de lésions morphologiques ne saurait être interprétée en faveur d'une parfaite intégrité du système nerveux, à cause de l'insuffisance des méthodes scientifiques alors en usage pour l'examen du système nerveux.

A. Capogrossi, s'attachant surtout aux caractères anatomo-pathologiques dans la mort par l'électricité, parle d'un individu qui fut atteint par un courant de très haute

tension et il insiste sur deux faits qu'il considère comme très importants, la fragmentatio-myocardii et la dégénérescence chromatolytique des cellules de la substance grise bulbaire, ainsi que les petites hémorrhagies de cette région.

Cunningham relate un accident, qui ne fut pas fatal pour le patient. L'auteur était près d'un tramway, regardant un électricien qui terminait une réparation. Celui-ci était sous la voiture, travaillant avec sa main droite, lorsqu'il posa, sans faire attention, sa main gauche sur le rail. Aussitôt, il eut une contracture de tous ses muscles, avec syncope. La respiration fut d'abord plutôt rapide ; le pouls était doux, rapide, légèrement irrégulier, et devint bientôt normal. Au bout de 30 secondes, la conscience se rétablit. Il put se relever lui-même après avoir vomi une fois et se plaignit de se sentir extrêmement faible. Le matin suivant, il déclara que cet état avait persisté environ deux heures après le choc. La force électromotrice du courant, dans cette circonstance, était environ de 500 volts.

D'autres cas, non suivis de mort, ont été signalés. Fischl parle d'un monteur électricien, se trouvant sur une charpente en fer, qui toucha de la main droite le fil conducteur d'un courant de 5.000 volts. Cet ouvrier, habile en son travail, croyait à ce moment le fil sans courant. Sa main gauche s'appuyait à la charpente. Il tomba sans connaissance, puis revint à lui, et se plaignit de maux de tête. Il présenta dans les jours suivants des paralysies spastiques de la bradycardie et une température élevée ; il avait à la main droite des brûlures du 3^e degré, très douloureuses, qui mirent longtemps à guérir (2 mois et demi).

Besson explique les cas non suivis de mort, dans les contacts avec de hauts voltages, de la façon suivante : Le centre respiratoire étant d'abord inhibé, avant que le cœur s'arrête, il faut une longue durée de contact pour amener la mort. Il y a, en effet, de la part de la peau, une grande résistance, ce qui localise la haute tension sous une densité élevée, au point de contact ; il s'ensuit une haute température qui carbonise les tissus avec dégagement de produits volatils. Il en résulte que ces lésions et cette atmosphère gazeuse opposent une forte barrière au courant ; l'organisme, qui a reçu une commotion du courant, n'amenant pas la mort, par suite de sa brièveté, est ainsi « isolé », ce qui permet, sans issue mortelle, la situation d'un organisme exposé pendant un instant à un courant de haute tension.

Nous avons relevé bon nombre d'observations d'accidents, nous ne les publions pas dans leurs détails, mais qu'il nous suffise de dire qu'il s'agissait d'une manière générale de courants continus, de 110 à 130 volts, et que les ouvriers dont il s'agit étaient victimes de l'accident en déplaçant des lampes, alors qu'ils avaient les pieds et les mains humides ou que leur dos, humide de transpiration, était appuyé contre des pièces métalliques. Une curieuse variété d'accidents est celle où les victimes ont succombé dans une baignoire en faisant fonctionner la sonnerie électrique. Un de ces cas est typique et fut l'objet, il y a quelques années, d'un important rapport médico-légal du Docteur Fleury. — Mme C... prenait un bain dans une baignoire fixe, émaillée, et dont le bouchon de vidange métallique, était placé au milieu même du fond, relié par une chaîne à un flotteur, A portée de la baignoire, à

gauche de la personne, était un appel de sonnerie électrique à chaîne, avec poignée en porcelaine. C'est au moment où Mme C... voulut effectuer un appel qu'elle ferma un circuit électrique entre sa fesse gauche posée sur le bouchon de vidange métallique et le fil de sonnette, également métallique, qu'elle tenait dans ses mains au moment de l'accident; ce qui permit le passage à travers son corps d'un courant de 110 volts auquel elle succomba. Outre les brûlures de la fesse gauche, l'autopsie révéla des lésions d'asphyxie : poumons congestionnés et taches de Tardieu. Le cœur avait un ventricule gauche vide et un ventricule droit plein de sang noir.

D'après les expériences faites et les observations recueillies, nous pouvons dire que les deux grands mécanismes de la mort sont l'inhibition des centres nerveux et l'arrêt du cœur. Si donc la tension augmente, le cœur a moins de chances d'être frappé ; mais alors l'action sur le système nerveux augmente. Mais il est cependant des cas où la mort résulte aussi, dans l'action du courant alternatif, d'un arrêt primitif du cœur, la respiration reprenant après une interruption et se prolongeant pendant un certain temps. C'est ce qu'a démontré Jellinek en expérimentant sur des chiens chloroformisés et il dit qu'à la vérité, le centre respiratoire et le cœur peuvent être tués du même coup.

Comme la mort par le cœur nous intéresse tout particulièrement, nous allons étudier cette mort, et examiner de plus près ce qui se passe, dans cette « paralysie » du cœur, que nous avons trouvée si souvent mentionnée, soit dans les expériences faites sur des animaux, soit dans les observations relatives aux accidents de l'électricité.

Les troubles dûs à l'électricité, pour le cœur, consistent dans l'apparition des trémulations fibrillaires. Que sont ces trémulations fibrillaires ? Ce sont des contractions particulières ; il semble que chaque fibre musculaire a une action isolée ; elle se contracte, mais non plus solidaire des autres, ce qui amène un frissonnement caractéristique, et cependant que les oreillettes battent rythmiquement, les trémulations fibrillaires sont, les unes horizontales, les autres verticales.

Est-ce à dire que ce phénomène est un signe de la mort du cœur ? Non, du fait que le cœur trémule, il n'est pas mort ; c'est là une manifestation de son activité, et nous verrons dans quelle mesure elle est compatible avec une survie de cet organe. Nous verrons, dans le chapitre relatif à l'électro cardiographie, que la contraction cardiaque amène dans ce muscle une variation négative de son état électrique. D'Halluin a montré que ce phénomène peut être enregistré sans électromètre. « Choisissons, dit-il, un chien mis en syncope respiratoire par une injection intraveineuse de chloral. Le thorax est ouvert, on pratique l'insufflation pulmonaire. Sectionnons l'un des nerfs périphériques dont l'extrémité terminale est placée sur le cœur. A chaque systole, le diaphragme se contracte avec énergie. Mais faisons trémuler le cœur. Que va-t-il se passer ? De temps en temps, on remarque des contractions du diaphragme ; il y a, semble-t-il, un phénomène d'addition latente, puis on constate une contraction musculaire. » Cette expérience vient prouver que le cœur qui trémule n'est pas un cœur mort, car les trémulations s'accompagnent de modifications de l'état électrique.

Il semble donc que les trémulations ne constituent pas un phénomène grave. Mais nous en dirons au contraire la gravité, conséquence de la difficulté, de la presque impossibilité même, de faire réapparaître le mouvement rythmique dans le cœur qui a trémulé. Il existe un autre mode de l'incoordination cardiaque. Alors que les trémulations sont, les unes horizontales, les autres verticales, les secousses qui constituent cet autre phénomène sont de forme ondulatoire. C'est ce que D'Halluin a appelé la « folie ondulatoire », réservant le terme de « folie fibrillaire » aux trémulations auxquelles il l'oppose. Ce sont là des mouvements qui ne présentent pas des signes positifs d'incoordination, et qui se produisent dans les oreillettes excitées électriquement. La rapidité des contractions auriculaires dépend en grande partie du degré d'excitabilité de celles-ci et de la force du courant employé ; la différence entre cette forme de mouvements et celle qu'on observe dans les ventricules dépend probablement de la structure plus simple et de la disposition moins compliquée des faisceaux musculaires de l'oreillette. Une différence à noter entre les mouvements déterminés par la faradisation, dans les oreillettes et ceux des ventricules, est que le mouvement fibrillaire dans les ventricules semble être tout à fait insensible à la stimulation du nerf vague, tandis que le mouvement ondulatoire des oreillettes peut être arrêté ou ralenti par l'influence du vague. Un autre caractère mettant entre ces deux phénomènes une différence importante, réside dans ce fait que les contractions rythmiques peuvent réapparaître dans le cœur atteint de mouvements ondulatoires, tandis que leur restauration est impossible dans le cœur dont les ventricules trémulent.

dans les conditions physiologiques normales, presque impossible dans certaines circonstances telles que des périodes digestives, le refroidissement, la chloralisation, celles-ci étant en effet capables de modifier la gravité des phénomènes. Il nous faut ajouter que les expériences qui ont permis ces observations, ont été faites sur des animaux adultes d'une certaine taille, si nous voulons affirmer la loi de la non-restauration du cœur trémulant. Nous avons vu, en effet, dans l'historique de notre travail, que chez les chiens et les chats électrocutés, la paralysie du cœur étant définitive, la mort survient, tandis que les lapins et les cobayes meurent rarement, et les rats jamais si le contact n'a duré que quelques secondes, parce que chez ces derniers animaux, le phénomène des trémulations est le plus souvent compatible avec la réapparition de la fonction rythmique du cœur. Les expériences de D'Halluin sur le cœur isolé se chiffrent par centaines. Cet auteur a varié autant qu'il était possible les conditions expérimentales, et il n'a observé qu'une seule fois : « la reprise des battements rythmiques d'un cœur ayant trémulé ».

Les trémulations fibrillaires sont donc d'une excessive gravité, et nous pouvons dire que la gravité du shock, chez un électrocuté, d'après ce que nous savons à présent des courants à haute et à basse tension, sera donc dépendante de la tension du courant ; il semblerait, à première vue, logique de supposer cette gravité augmentée du fait de l'augmentation elle-même de la tension. Mais il n'en est rien, puisque les courants de haute tension inhibent simplement les centres nerveux, et qu'en arrivant à temps auprès d'une victime, la respiration artificielle peut rap-

peler celle-ci à la vie, tandis que, la basse tension amenant l'apparition des trémulations fibrillaires, c'est l'acheminement fatal vers la mort, c'est l'impossibilité de voir réapparaître cette fonction physiologique essentielle à la vie d'un individu, l'activité rythmique du cœur.

Et si, dans la pratique journalière c'est le contraire qui semble s'observer et qui ait fait acquérir aux courants de basse tension une réputation bénigne, et attribuer aux courants de haute tension une action grave, c'est que, généralement, ces derniers atteignent plus facilement la victime, et que, les contacts étant défectueux, l'intensité reste faible malgré la tension ; et les intensités faibles n'inhibent pas le bulbe, mais tuent le cœur.

La production des trémulations fibrillaires, voilà le grand danger de l'électrocution. Quelle est la cause intime de ces désordres du cœur ? On ne la connaît pas encore. D'après ce que nous savons du caractère et de la gravité de ces désordres, on pourrait penser que si la fonction rythmique ne peut-être retrouvée dans un cœur trémulant, peut-être en exposant le cœur à des circonstances pouvant arrêter ces trémulations elles-mêmes, on pourrait reprendre alors les différents modes d'intervention, en considérant dans ce cas ce cœur comme un cœur arrêté par toute autre cause. — Mais ni l'arrêt prolongé, ni le refroidissement, n'ont aucune efficacité ; c'est ce que D'Halluin a expérimenté en arrêtant dans un cœur isolé qui trémule la circulation artificielle, et en l'exposant à l'air libre. — Mais, dit l'auteur, « le cœur ne peut oublier dans la mort son mouvement de folie. », et si on le ranime, il trémule à nouveau, prouvant une tenacité remarquable de ce trouble que constituent les trémulations fibrillaires.

Comment diagnostiquer celles-ci chez un électrocuté ? Nous verrons, en parlant de la méthode électro-cardiographique et de son application médico-légale, combien elle est utile : pour enregistrer des contractions cardiaques soit normales, soit pathologiques ; mais pratiquement, elle n'est pas applicable dans tous les cas, car l'électromètre ou le galvanomètre sont encore réservés au laboratoire, et les électrocutions se produisent le plus souvent loin du laboratoire des physiologistes. Mais, dans la pratique, à l'exploration du cœur, perception du frémissement de la surface du myocarde, recherche des pulsations des veines du cou, on peut joindre la recherche de l'excitabilité mécanique du cœur, et, considérant l'électrocution comme un cas particulier de la syncope mortelle, appliquer cette recherche aux électrocutés. Dans une étude expérimentale sur la thérapeutique du shock, M. D'Halluin préconise la percussion du cœur avec un stylet explorateur. Un cœur normal, un cœur excitable, répond à cette excitation mécanique par une bonne contraction, tandis qu'un cœur en trémulations ou ne possédant plus de propriété d'irritabilité, ne répond pas. Quant à rechercher en second lieu s'il s'agit d'absence d'irritabilité ou de trémulations, cela constitue un diagnostic différentiel impossible, mais que ce soit l'un ou l'autre de ces deux états, on tiendra pratiquement la même conduite, que nous étudierons plus loin dans le traitement des électrocutés.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I

De l'électro-cardiographie en général

Tout mouvement de la matière vivante, et, plus particulièrement la contraction musculaire, produit une différence de potentiel entre les parties mises en jeu et celles qui restent inactives. Qu'en résulte-t-il ? Un courant électrique, et c'est l'ensemble des phénomènes électriques liés à la contraction du muscle cardiaque, qui fait l'objet de la méthode électrocardiographique.

Avant d'exposer les caractères de l'électro cardiogramme normal chez l'homme, nous rappellerons quelques expériences relatives au courant électrique d'origine cardiaque. Sur un chien à poitrine ouverte, si l'on sectionne préalablement le nerf phrénique gauche, on voit se produire dans le diaphragme des secousses rythmées en rapport avec les systoles cardiaques. C'est que le nerf phrénique gauche passe directement sur le cœur et se trouve excité, à la façon d'une patte galvanoscopique par le courant d'action du cœur. Chez l'homme, on a pu recueillir ce courant à la surface du corps, car il y diffuse suivant les lois de la diffusion des courants électriques. Si, de part et d'autre d'une ligne allant du sommet de l'épaule gauche à l'hypocondre droit, ligne passant sensiblement par le milieu du cœur, on relie deux points quelconques

de la peau humide à un galvanomètre, on constate que toute la partie située au-dessous de la ligne, et par conséquent du côté de la pointe du cœur, devient négative au moment où commence la systole ventriculaire, tandis que la partie située au-dessus devient positive ; à la fin de la systole, les phénomènes inverses se produisent et toutes les parties du corps deviennent neutres à la diastole ; ce qui amène Waller à conclure que le cœur est en équilibre électrique, alors que la pointe devient négative, et la base positive, pendant la contraction des ventricules.

La méthode électro cardiographique ajoute donc à ces simples constatations, l'existence d'un tracé, permettant de comparer sur une image les diverses contractions dans le cœur normal, et d'étudier les localisations cardiaques, étude qui a bien été mise au point par le Docteur O. Josué dans son livre sur la séméiologie cardiaque actuelle ; et, dans le cœur pathologique, tel celui qui nous occupe dans l'électrocution, d'insérer les variations de la contraction cardiaque pendant le processus de la mort du cœur. Les changements électriques qui se produisent dans le cœur par la contraction successive des divers segments, sont mis en circuit. Le cœur, pile variable, fait corps avec le système conducteur qui va de la pointe à la base. La base se contracte : elle devient électro-négative ; le courant va passer de la pointe vers elle ; la pointe se contracte, le courant se dirige en sens inverse.

Quelles sont les conditions expérimentales nécessaires pour observer sans erreur les changements électriques de la contraction cardiaque ? Notons que, en fait le circuit comprend le cœur et les bras, ou un bras et une jambe, des solutions salines contenues dans deux vases isolés,

des électrodes impolarisables réunies à un appareil enregistreur. Toute contraction et par conséquent tout changement négatif de la base du cœur se traduit par un soulèvement, tandis que tout changement négatif de la pointe se traduit par un abaissement, conventions obtenues d'après l'établissement des connexions. Ces deux variations se produisent au-dessus et au-dessous de la ligne iso-électrique, ligne qui correspond à l'état neutre du cœur. L'électrocardiographie enregistre donc le point de départ de la contraction dans les diverses parties du cœur ainsi que leur mode de progression.

Th. Lewis a déterminé chez le chien des contractions anormales. S'aidant de la méthode électro cardiographique, il a noté les différences avec la contraction normale et en comparant les électro cardiogrammes obtenus avec ceux que produisent chez l'homme les contractions anormales, il en a constaté l'analogie.

Quels sont donc les éléments de l'électro cardiogramme normal ? Quel est le tracé, correspondant, dans cet état, à la contraction, à la condition, bien entendu, que dans chaque examen, le tracé soit pris suivant chacune des trois conductions habituelles, c'est-à-dire :

Conduction I : bras droit, bras gauche.

Conduction II : bras droit, jambe gauche.

Conduction III : bras gauche, jambe gauche.

Dans l'électro cardiogramme normal, un premier soulèvement, P, annonce la contraction auriculaire ; il est peu élevé ; une courte ligne horizontale le suit (fig. 1), et, après elle, c'est un nouveau soulèvement, très haut, R ; il est pointu, à angle très aigu ; sa branche descendante

dépasse en bas la ligne horizontale, où il forme un abaissement à angle aigu, oscillation que l'on désigne par la lettre S. Après ces deux soulèvements, c'est une ligne horizontale, ligne iso-électrique, précédée cependant par un nouveau soulèvement T, au-dessus d'elle, qui atteint généralement le quart du tracé de R, et qui est arrondi,

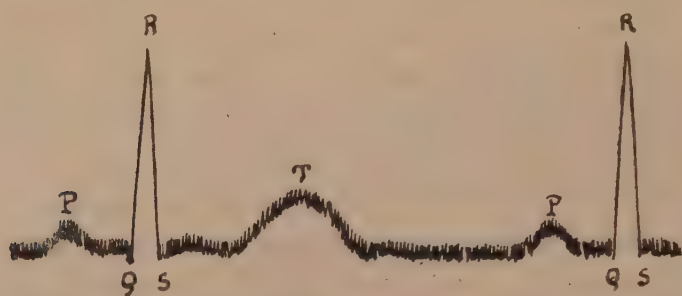


FIG. 1. — Electrocardiogramme normal
(Notation de EINTHOVEN)

pouvant être plus ou moins haut. L'ensemble de R, S, T, ainsi que la ligne iso-électrique, de même que l'abaissement Q, qui se produit immédiatement avant R et qui est inconstant, appartient à la systole ventriculaire. Il serait intéressant, si l'on étudiait le cœur au point de vue clinique, de mesurer les divers soulèvements qui viennent d'être décrits. Mais, sans vouloir cependant entrer dans les détails des localisations cardiaques, signalons un espace dont l'étude est importante à ce point de vue; c'est l'espace P. R., qui dure normalement de 0"12 à 0"18; il s'étend de la systole des oreillettes, à son début, au commencement de la systole ventriculaire, et par exemple dans une lésion matérielle ou un trouble fonctionnel du faisceau de Gaskell-Kent, il s'allonge.

Nous avons recherché la discussion de la signification des divers segments d'un électrocardiogramme normal. Devant les nombreuses théories émises, d'ailleurs toutes hypothétiques, nous pouvons dire que l'accord n'est pas encore fait. Mais la description du mécanisme a été faite par Th. Lewis et encore cet auteur mentionne-t-il que la plus grande partie de son explication est à l'état d'hypothèse.

Si l'on se rappelle que trois couches de fibres musculaires entrent dans la structure de la paroi des ventricules, on suivra facilement l'explication du mécanisme de l'électrocardiogramme donnée par Th. Lewis. Ces diverses couches, à savoir : des fibres en spirale à direction générale longitudinale constituant la couche extérieure, des fibres longitudinales dont font partie les muscles papillaires constituant la couche interne, et enfin, une partie moyenne de fibres circulaires, sont anastomosées entre elles et ne subissent pas la contraction exactement au même instant. Le ventricule droit se contracte le premier ; sa systole précéderait de 0"02 celle du ventricule gauche (Stasen). Donc, le soulèvement R. serait l'expression de la contraction des muscles papillaires et surtout ceux du ventricule droit, fait observé quand on excite directement un gros pilier de ce ventricule avec une électrode introduite dans la cavité.

La première manifestation dans l'électrocardiogramme normal, de la contraction ventriculaire est donc le soulèvement R. En ce qui concerne le soulèvement Q, dont il a été parlé plus haut, et qui est inconstant, Einthoven émet l'idée que la contraction doit commencer dans ce cas dans des parties plus rapprochées de la pointe.

Quand la contraction primitive a ainsi eu lieu, l'onde contractile se répand en chaque point des deux ventricules. A ce moment l'abaissement S apparaît, plus ou moins grand, suivant que, pendant la contraction de la pointe, celle-ci l'emporte plus ou moins sur celle de la base. Lorsque l'ensemble des ventricules est en systole, il y a neutralisation des états électriques, et la ligne iso-électrique horizontale apparaît. Mais une prédominance de contraction se manifeste du côté de la base et produit le soulèvement T. D'après Goth, la contraction suivrait le trajet du tube cardiaque primitif. Partie, vers la pointe, de la partie de la base des ventricules voisine des oreillettes (activité de la base R et activité de la pointe S) elle retournerait ensuite vers cette base, mais dans la partie artérielle (activité de la base T.), c'est-à-dire celle qui avoisine l'origine des artères carotide et pulmonaire. C'est à l'union de la veine cave supérieure et de l'oreillette droite que se trouve d'après Th. Lewis, le centre régulateur normal du cœur, et à l'état normal l'excitation du ventricule dépend de l'incitation de l'oreillette se contractant régulièrement ; la propagation se fait par une bande neuro-musculaire, le faisceau auriculo-ventriculaire.

Toutes ces explications laissent encore des points obscurs, mais nous n'entrerons pas dans la discussion de l'origine des divers segments de l'électrocardiogramme. Nous avons toutefois exposé la technique électrocardiographique, puisque cette méthode a été employée à l'appui des expériences d'électrocution que nous présentons, et de la connaissance de l'électrocardiogramme normal a été déduite l'explication des troubles produits chez les chiens électrocutés, pour l'étude de la mort du cœur.

CHAPITRE II

a. Technique des expériences d'électrocution

L'appareil de contention des animaux pour la prise des électrocardiogrammes, employé au laboratoire de M. le Professeur Cluzet mérite ici une description détaillée. Il

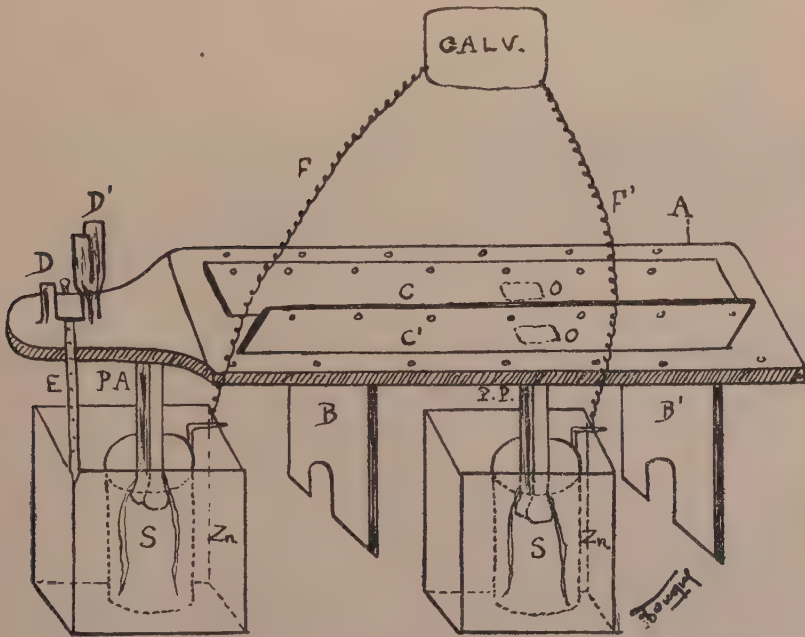
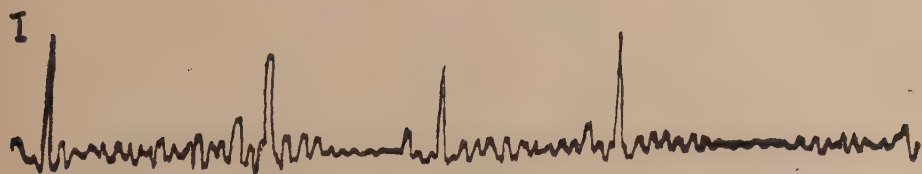


FIG. 2. — Appareil de contention des animaux pour la prise des électro-cardiogrammes (Demi-schématique)

est construit de la façon suivante : La « Table » consiste en une épaisse planche (fig. 2, A) d'environ 1 mètre de long sur 30 cm de large, plus étroite à sa partie antérieure. Elle est supportée par deux autres B et B', insérées sur

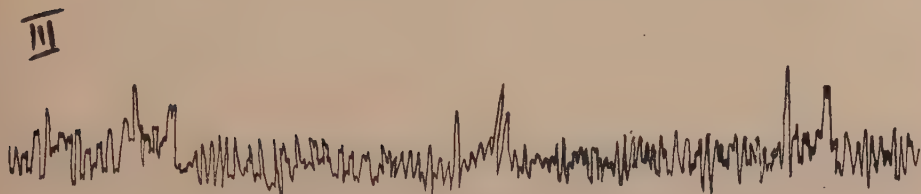
elle perpendiculairement, ajustées contre sa face inférieure. Sur la face supérieure, on remarque en allant d'avant en arrière : 1° deux supports échancrés, D et D' l'un très bas pour recevoir la partie moyenne du museau de l'animal, l'autre plus élevée destinée à servir de support au cou ; entre les deux, une courroie E sert de lien de fixation ; 2° deux plans obliques C et C', s'étendant sur presque toute la longueur de la table ; ils sont inclinés à 45° et divergents. Leur bord supérieur est percé de trous espacés de 10 cm. destinés au passage des liens. Ces deux plans forment ainsi une gouttière assurant une bonne contention de l'animal. Sur la face inférieure de la table on remarque, en plus des deux supports B et B', deux tiges de bois épaisses quadrangulaires, PA, l'une à droite, l'autre à gauche, situées entre l'extrémité antérieure de l'appareil et le support B. Elles servent d'attelles pour les pattes antérieures. Deux autres tiges identiques, P et P' et un peu plus longues sont situées plus en arrière entre le support B et le support B'. Elles sont utilisées pour les pattes postérieures. La table A est percée, en dehors de l'insertion de chacune de ces deux tiges, par rapport à la ligne médiane, de deux ouvertures O O', pour permettre le passage des pattes, tandis qu'à la partie antérieure de l'appareil, la patte descend directement contre le bord externe de la planche, plus étroite à cet endroit. L'animal est placé sur l'appareil, couché sur le ventre. Dans les expériences dont il est question, on a utilisé la patte antérieure droite et la patte postérieure gauche, qui plongaient dans des électrodes impolarisables que l'on voit dans notre figure sous l'appareil, et composées d'un vase poreux contenant une solution saline S, et contenu lui-même dans une solution



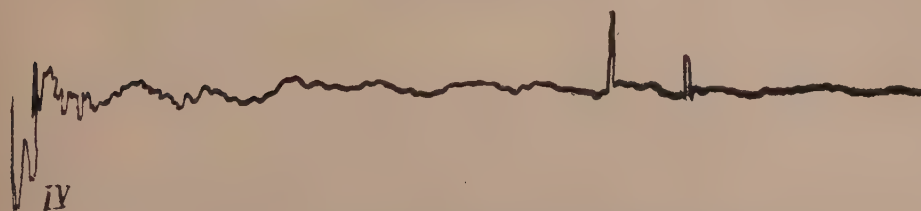
I. Electro-cardiogramme normal.



II. Anesthésie ; légères modifications.



III. Phase agonique ; les trémulations fibrillaires
(après l'électrocution).



IV. Cœur mis à nu ; quelques battements rares
et de faible amplitude.



V. Arrêt complet du cœur.

NOTA. — Les oscillations de la phase agonique ont eu chez certains sujets, après électrocution, une amplitude de 2 cm. au dessus et 2 cm. au dessous de la ligne iso-électrique (Voir : CLUZET ET BONNAMOUR. *La mort du cœur dans l'électrocution*. — *Journal de Radiologie*. Paris, Novembre 1921,

de sulfate de zinc Zn que renferme une cuve cubique en verre. Deux fils F et F' reliaient chacune de ces deux électrodes à l'appareil enregistreur des électrocardiogrammes, GALV., schématiquement représenté par un rectangle dans notre figure. Le laboratoire possède un appareil de Siemens pour la prise des films électrocardiographiques, avec inscription directe sur bande de papier sensible, et un appareil de Cambridge, permettant la prise de clichés sur plaques, photographies des variations transmises à un fil de quartz par les changements des états électriques du cœur.

Ceci dit, nous allons exposer la technique de l'électrocution dans les expériences faites au laboratoire de M. le Professeur Cluzet, avant de présenter trois observations concernant les animaux électrocutés, accompagnées des plus caractéristiques des tracés électrocardiographiques qui se rapportent à la mort du cœur dans ces expériences.

I. — CHOIX ET PLACE DES DES ELECTRODES.

Les électrodes qui devaient servir au passage du courant d'électrocution ont été placées ainsi : une électrode a été essayée dans la région frontale. Mais la résistance était trop grande pour permettre le passage du courant nécessaire à l'électrocution. On a placé une deuxième électrode au périnée ; mais ici encore la résistance offerte par le corps de l'animal était trop grande pour l'utilisation d'un courant convenable. C'est à ce moment qu'on a songé à mettre une électrode fusiforme dans la région anale et une autre de forme sphérique dans la mâchoire de l'animal. Evidemment, dans ces conditions d'expérience des brûlures très graves étaient occasionnées par la place des électrodes

et on ne pouvait songer à répéter sur un même animal plusieurs expériences de longue durée et en intervalles éloignés. Or, dans les recherches effectuées vers le but que l'on se proposait d'atteindre, cette considération n'entrait pas en ligne de compte ; et après une, deux, trois électrocutions, tout au plus, l'animal mourait sur la table d'expérience. Notons que pendant les électrocutions, l'animal était sous l'influence d'une légère narcose à l'éther et souvent on a remarqué que le simple passage du courant remettait l'animal en état d'éveil. Une discipline rigoureuse était exigée pour ces expériences : chacun avait sa place, la division du travail étant établie dans des conditions précises. Les aides étaient au nombre de cinq :

Pour l'Electro cardiographie : 1.

Pour l'Anesthésie : 1.

Pour la Respiration artificielle : 1.

Pour la Constatation de visu des battements du cœur : 1.

Pour le Courant d'électrocution : 1.

Pendant la prise de l'électro cardiogramme normal, la constatation de visu des battements du cœur est nécessaire, pour constater la corrélation entre les modifications électriques enregistrées par l'appareil et la manifestation de l'activité cardiaque aux yeux de l'observateur.

II. — TECHNIQUE

1° L'anesthésiste procède tout d'abord à la narcose de l'animal ;

2° Puis, on prend un électro cardiogramme normal ;

3° On incise alors la trachée, trachéotomie sus-hyoïdienne, qui, une fois terminée, permet l'introduction d'une

canule, que l'on fixe à l'aide de lacets autour du cou de l'animal. Cette canule communique avec un soufflet par l'intermédiaire d'un long tube en caoutchouc : une manivelle actionne le soufflet et on peut ainsi effectuer automatiquement les mouvements d'inspiration et d'expiration. Mais on ne commence pas tout de suite la respiration artificielle ;

4° On incise la paroi thoracique gauche et on procède à une résection des quatre dernières côtes, pour la création d'un volet costal. Il se produit un pneumothorax ; le poumon est rétracté. On commence alors la respiration artificielle. A l'aide d'un champ opératoire, on met bien en évidence toute la région médiastinale et un aide projette la lumière sur le cœur dont on repère les battements des oreillettes et des ventricules ;

5° Lorsque le thorax est ainsi ouvert, on prend un deuxième électrocardiogramme, en notant les battements réguliers du cœur, systole auriculaire et systole ventriculaire ;

6° On lance alors le courant d'électrocution pendant 30 secondes à une minute. On note une intensité d'environ un demi ampère. Pendant le passage du courant, on ne prend pas d'électro cardiogramme. On rompt le circuit du galvanomètre pour éviter le passage des dérivations du courant de la ville dans l'appareil de mesure, ce qui compromettrait gravement son fonctionnement.

b) Observations

OBSERVATION I.

Lapin I. — 3 kilogs. — 1^{er} février 1921.

17 h. 50 — Anesthésie à l'éther. Le film indique des contractions normales pendant l'anesthésie.

18 heures. — Courant continu : 50 volts. Tétanisation totale du lapin pendant le passage du courant.

18 h. 10. — Courant continu : 80 volts (0 amp. 1), puis, après prise d'un film, nouvelle électrocution par courant continu de 110 volts (0 amp. 1). Mort.

18 h. 25. — Nouveau film (le cœur est mis à nu). Fibrillations des oreillettes, trémulations des ventricules.

18 h. 26. — Fibrillation des oreillettes, arrêt complet des ventricules. Puis, fibrillation très faible des oreillettes, ventricules immobiles.

OBSERVATION II.

Chien II. — 3 février 1921.

16 h. 25. — Anesthésie à l'éther. On prend à 16 h. 30 un cliché et un film avant l'électrocution. La région thoracique gauche est rasée ; nettoyage à l'eau et au savon. Incision du tissu cellulaire sous-cutané. Volet thoracique.

16 h. 35. — Electrocution : 1 électrode dans la bouche ; 1 électrode dans l'anus. 350 m. A. 120 volts. Tremblements du ventricule et inhibition respiratoire ; puis petits tremblements musculaires du cœur, qui semblent superficiels, sans aucun battement cardiaque.

Film. — Les oreillettes battent. Quelques petits mouvements qui se communiquent aux ventricules. Faibles contractions auriculaires espacées.

17 h. 2. — Film. — Après injection de KCL. Quelques battements des oreillettes. Rien aux ventricules. Ces battements paraissent un peu plus forts.

17 h. 5. — Mort du cœur : Rien aux oreillettes, ni aux ventricules. Le tracé électro cardiographique reste horizontal.

OBSERVATION III.

Chien V. — Chien moyen, 4 kilogs. — 19 février 1921.

17 heures. — Anesthésie à l'éther. Prise de 3 films : l'un au début de l'anesthésie ; l'un après la trachéotomie ; le troisième au début de l'ouverture du thorax.

17 h. 35. — Electrocution, 50 m. A.

Film n° 4. — Battements rapides du cœur.

Arrêt du cœur.

Quelques mouvements rares de tout le cœur.

Contraction normale mais lente.

Film n° 5. — Battements plus précipités. Tachycardie. Quelques petits mouvements fibrillaires qui commencent.

17 h. 40. — Electrocutation, 50 m. A.

Film n° 6. — Fibrillation de tout le cœur.

Mouvements très rapides aux oreillettes comme aux ventricules. Les mouvements deviennent de plus en plus petits.

17 h. 42. — Film n° 7. — Mouvements de plus en plus petits localisés aux oreillettes. Rien d'apparent aux ventricules. A la fin de ce film, deux interruptions rapprochées.

Film n° 8. — Rien aux ventricules ni aux oreillettes. Les oreillettes sont cependant grosses.

17 h. 45. — Injection de KCL. 20 cc.

17 h. 52. — Film n° 9. — Massage du cœur. Aucun battement.

Après 15 minutes de massage, l'immobilité du cœur persiste.

18 h. — Injection de strophantus, 2 m/mgr. par cc.

Rien d'apparent.

Le massage est poursuivi jusqu'à 18 h. 10. Mais on ne constate aucun mouvement apparent au cœur.

NOTA. — Les oscillations de la courbe ont persisté pendant longtemps lorsque les mouvements du cœur n'étaient plus visibles.

Il résulte de ces expériences faites au total sur cinq chiens, un lapin et deux grenouilles, que lorsque le passage du courant est de courte durée, une seconde, on constate un ralentissement du cœur avec, quelquefois, de la fibrillation auriculaire. Après quelques minutes, le cœur et le tracé reprennent l'aspect normal. Lorsque le passage du courant est de 1 à 2 minutes, les trémulations apparaissent dans l'oreillette et le ventricule. Le tracé montre alors une ligne sinueuse dont la forme et l'ampli-

tude des oscillations varient d'une façon constante. Les oscillations sont irrégulières et de grande amplitude, aspect caractéristique de la trémulation sur l'électro cardio-gramme.

Après quelques minutes, la fibrillation ventriculaire est moins apparente, puis peu à peu s'éteint ; les ventricules sont alors complètement immobiles tandis que les oreillettes battent encore. Sur le tracé, on note un changement caractéristique : les grandes oscillations s'espacent de plus en plus, puis disparaissent et il reste seulement une ligne sinueuse à petites oscillations dont l'amplitude et la fréquence sont variables.

Enfin, la fibrillation auriculaire disparaît et aucune oscillation nette n'est marquée sur le tracé. Mais cependant chez quelques sujets, des oscillations de grande amplitude s'inscrivent encore, alors que, à l'observation du cœur de visu, les ventricules et même les oreillettes paraissent arrêtés. Retenons ce fait. Il a son importance dans les considérations qui vont suivre.

Le massage cardiaque seul ou associé aux injections de KCL, a été effectué chez trois des sujets expérimentés. Il a ramené les trémulations chez le chien dont le cœur était immobile depuis plusieurs minutes, mais, quelle qu'ait été la durée du massage, nous n'avons jamais ramené le fonctionnement rythmique du cœur.

TROISIEME PARTIE

CHAPITRE I

Considérations médico-légales

A) De la valeur médico-légale de la méthode électrocardiographique.

Ainsi, l'électrocardiogramme n'enregistre pas seulement la vie normale et pathologique du cœur. Il peut aussi enregistrer l'agonie et la mort de cet organe. Nous venons d'en fournir la démonstration dans nos expériences. Il est donc logique, de rechercher, comme l'ont fait au 6^e Congrès de Médecine légale de langue française (juin 1921) le professeur Cluzet et le docteur Mazel, si la courbe électrocardiographique ne pourrait pas éventuellement être utilisée pour permettre le diagnostic de la réalité de la mort, et, plus précisément pour différencier un état de mort apparente d'un état de mort réelle. L'on sait, en effet, combien la crainte d'une confusion de cet ordre et par conséquent celle d'une inhumation prématurée préoccupe certains esprits.

Ce n'est pas que les signes de la mort ne soient pas nombreux. Mais leur valeur est essentiellement différente. Ceux auxquels le médecin légiste attache une valeur absolue sont au nombre de quatre : refroidissement, lividités cadavériques, rigidité cadavérique, putréfaction. Mais si ces signes sont certains, ils n'apparaissent qu'au

bout de quelques heures (pour les plus précoces d'entre eux), et l'on ne peut attendre ce délai pour indiquer à une famille que l'un des siens a cessé de vivre.

Beaucoup plus nombreux sont les signes que l'on pourrait appeler les signes cliniques de la mort. Ils sont fournis notamment par la constatation de la suppression des mouvements respiratoires et des battements cardiaques, cette dernière étant appréciée soit par l'auscultation du cœur lui-même, soit par la disparition de la circulation artérielle mise en évidence par des procédés extrêmement divers dont le plus ingénieux est l'épreuve d'Icard. Dans la pratique, c'est d'après la disparition des mouvements respiratoires, des battements cardiaques, du pouls artériel que le médecin porte le diagnostic de la mort. Or, dans son appréciation intervient un facteur subjectif qui peut être une cause d'erreur.

La physiologie et l'électrocardiographie montrent, en effet, qu'avant sa mort complète, le cœur présente pour ainsi dire quelques battements légers, espacés, lointains, qui témoignent encore de sa vie et qui sont séparés par de longs intervalles de silence, c'est-à-dire de mort apparente. Si l'on assiste à l'agonie d'une personne, il est extrêmement difficile d'affirmer à quel moment exact cette agonie prend fin, surtout si un facteur émotif est en jeu au moment de l'examen.

Nous nous souvenons, en écrivant ces lignes, d'un cas que nous avons eu l'occasion d'observer pendant l'été de 1920 à l'hôpital militaire de Versailles. L'un des malades du service de la 2^e division de fiévreux, atteint de myocardite avec phénomènes graves de septicémie, était mourant, et nous fûmes appelés auprès de lui vers une heure

du matin. Nous arrivâmes pendant qu'il expirait ; la respiration s'arrêta ; le cœur cessa de battre, pendant qu'on nous préparait de quoi faire une piqûre de caféine. Nous fîmes cependant cette piqûre, et, prenant machinalement le pouls du mourant, nous eûmes l'impression d'avoir senti deux pulsations légères ; auscultant alors de nouveau le cœur, nous entendîmes successivement les deux bruits, faibles il est vrai, de trois contractions cardiaques. Un nouvel arrêt d'une seconde, puis une nouvelle systole cardiaque très faible ; enfin, arrêt définitif du cœur et des pulsations de l'artère radiale..

Ce n'est pas évidemment dans un tel cas que la prise d'un électro cardiogramme eût été utile ; pour un résultat expérimental, peut-être, uniquement, et non pour un résultat pratique. En effet, toutes les médications appliquées antérieurement au malade n'avaient pas triomphé de la myocardite ni de l'envahissement septicémique progressif de l'organisme, et le pronostic était fatal. Mais, si nous avons cité cet exemple, c'est pour montrer, comme nous le disions plus haut, la difficulté du diagnostic de la mort du cœur par les seuls moyens d'exploration de cet organe, même avec la présence des autres signes de la mort.

Le professeur Cluzet et le docteur Mazel se sont demandés dans quelle mesure l'électrocardiographie ne pourrait pas, actuellement, sur le terrain théorique et expérimental, plus tard peut-être sur le terrain pratique, pallier cette insuffisance des signes immédiats de la mort. Voici le compte-rendu de l'expérience qu'ils ont faite :

« Un jeune chien est maintenu de telle sorte que ses pattes antérieure droite et postérieure gauche plongent dans deux électrodes impolarisables reliées au fil du gal-

vanomètre à corde. Un électrocardiogramme est pris, qui montre un tracé normal avec une arythmie légère et une deuxième secousse ventriculaire un peu marquée. A 15 h. 55, l'animal reçoit une injection sous-cutanée d'une solution concentrée de cyanure de potassium. De 15 h. 55 à 16 heures, réaction assez vive : cris, agitation. La figure normale du tracé n'est pas modifiée. A 16 heures, diminution de l'agitation, apparition de dyspnée et de salivation accusée. Le tracé montre la disparition des secousses rythmiques et la trémulation de l'organe. C'est l'agonie. A 16 h. 4, cornée insensible ; l'animal ne réagit plus au pincement ; les battements cardiaques ne sont plus perçus à la palpation. A 16 h. 5, injection intra-musculaire de la solution de fluoresceine d'Icard, au niveau de la région dorsale, et thoracotomie latérale gauche, mettant le cœur à nu et permettant de constater encore quelques battement lents, arythmiques, n'amenant aucun déplacement appréciable de l'organe. Un nouveau film montre quelques secousses synchrones aux battements et également arythmiques. A 16 h. 6, tout mouvement a cessé au niveau du cœur. Parallèlement, aucune oscillation du tracé. Un massage du cœur, poursuivi pendant quelques minutes, n'amène plus la réapparition de contractions cardiaques ou d'oscillations sur la figure électro cardiographique. D'autre part, les milieux de l'œil ne présentent, du fait de l'injection de fluoresceine, aucune coloration et les recherches faites pour vérifier l'acidité des tissus (signe de Bissemoret et Ambard, signe de Lecha-Marzo) sont négatives, le papier de tournesol ne rougit pas. »

Dans l'interprétation qu'ils tentent de l'expérience qui vient d'être rapportée, les auteurs précisent tout d'abord

combien il leur paraît indispensable que leur tentative expérimentale soit poursuivie et surtout soit transportée sur le terrain clinique. Il serait intéressant de rechercher parallèlement chez l'homme l'arrêt de l'énergie électrique du cœur et des autres signes de la mort de cet organe. De même, ils soulignent combien, à l'heure actuelle, la nécessité d'une instrumentation délicate et coûteuse ne permet pas une extension médico-légale de l'électrocardiographie dans la pratique ; (il est vrai que cette objection essentielle présentement peut disparaître du fait de modifications dans l'appareillage).

Sur le terrain expérimental et théorique où ils se sont placés, le professeur Cluzet et le docteur Mazel établissent une comparaison rapide entre l'électrocardiographie et les autres méthodes qui peuvent permettre le diagnostic de la mort réelle par le diagnostic de la mort du cœur. Les avantages que leur paraît présenter l'électrocardiographie sont les suivants :

— *Elégance plus grande* ; il ne s'agit pas, en effet, d'une méthode brutale comme celle qui consiste à ouvrir un vaisseau sanguin ou à enfoncer des épingles dans la paroi cardiaque.

— *Suppression de tout élément subjectif* qui ôte une partie de sa valeur au signe de Bouchut (absence de battements cardiaques constatée à une auscultation prolongée).

— *Possibilité, par un tracé qui peut être conservé, de garder un témoin durable, une pièce à conviction de la mort du cœur.* Surtout, les auteurs indiquent (et leur expérimentation confirme entièrement cette manière de voir), que la méthode électrocardiographique paraît apporter un signe d'une valeur plus grande que les autres

signes de l'arrêt du cœur. Elle témoigne, en effet, de la mort de cet organe, non pas de façon indirecte, comme le font les méthodes qui mettent en évidence l'absence de circulation périphérique, mais de façon directe, en inscrivant « la disparition d'une manifestation essentielle de la cellule cardiaque vivante et de la matière vivante en général ».

La seule question qui se pose est de savoir si l'on peut établir une équivalence absolue entre l'arrêt fonctionnel du cœur et la mort du cœur en particulier, de l'organisme en général. Une seule constatation ne suffit pas à établir cette équivalence, car les expériences des physiologistes ont nettement établi que l'arrêt temporaire de la circulation et du cœur peuvent exister sans amener la mort et qu'il y a, pour ainsi dire, comme l'indique Thoinot « une mort temporaire avec résurrection possible ».

Mais cette mort temporaire ne doit pas se prolonger trop longtemps. Comme l'a montré Sand, aucun cas n'est connu dans lequel le massage du cœur, pratiqué après syncope d'une durée supérieure à 15 minutes, a été efficace et a permis le retour à la vie. Il semble donc, écrivent en propres termes M. le Professeur Cluzet et le Docteur Mazel, que « si deux électro cardiogrammes, pris à plus de 15 minutes d'intervalle, indiquent tous deux, par l'horizontalité de leur tracé l'arrêt fonctionnel du cœur, il est permis d'affirmer la mort de celui-ci et par conséquent la mort de l'organisme. »

Si l'on tient compte à la fois de la certitude de cette donnée et aussi de la confiance que de tels esprits ne manqueront pas d'avoir dans une méthode aussi compliquée et aussi peu répandue que l'électrocardiographie,

l'on peut admettre qu'il y a là une affirmation apaisante pour le psychisme de ceux que hante la crainte d'une inhumation prématurée.

B) *De l'électrocution légale en Amérique.*

En présence des nombreuses expériences d'électrocution qui avaient été faites, et devant la constatation d'une mort qui semblait rapide et certaine, on songea, en Amérique, à employer l'électricité dans l'application de la peine capitale.

En 1888, l'Assemblée législative de l'Etat de New-York, vota une loi d'après laquelle les condamnés à mort devaient être exécutés par l'électricité, et nomma une commission chargée d'étudier la méthode à employer, commission à laquelle la Société médico-légale de New-York délégua quatre membres. Nous avons relevé dans ce rapport quelques points intéressants. Les expériences furent faites sur des chiens. Ceux-ci étaient placés dans une boîte doublée de zinc, à moitié pleine d'eau, communiquant avec une pile ; une électrode en forme de fil était enroulée autour du nez et introduite dans la bouche de l'animal. Il fut démontré que la résistance des chiens, qui est de 3.600 à 200.000 ohms, dépendait de l'épaisseur de la peau et des poils et de la plus ou moins grande humidité de la peau au point d'application. Pour le corps humain, la résistance devait être moindre avec de larges électrodes ; mais, l'intensité du courant dépendant de l'aire superficielle de l'électrode, un pôle de petit diamètre permettait le passage d'un courant plus intense qu'avec une électrode à large surface. Comme on avait objecté que les expériences avaient été faites sur des animaux de

petite taille, on les recommença sur des animaux plus gros et nous reproduisons à ce propos le tableau ci-dessous :

*Expériences faites devant la Société médico-légale,
au laboratoire Edison, le 5 décembre 1888, par
M. Harold et P. Brown.*

Animaux	Poids en livres	Résistance en ohms	Caractère du courant	Voltage	Durée du contact	Résultat
Cheval	1230	11.000	Interrompu	700	25 secondes	Mort
Veau	124 ¹ / ₄	3.200	»	770	8 secondes	Mort
Veau	145	1.300	»	750	5 secondes	Mort

Electrodes : 1 sur le milieu du front, l'autre entre les deux épaules.

Les membres de la Commission répondirent à l'objection que l'électricité ne doit pas nécessairement tuer l'homme parce qu'elle tue les animaux, en indiquant que, depuis 1883, quelque 200 individus avaient été tués pour avoir manié des fils servant à l'éclairage électrique ou au transport de l'énergie et que ces courants présentaient les mêmes caractéristiques que ceux employés dans les expériences. Ils préconisèrent dans l'emploi légal de l'électricité, la position en décubitus dorsal du criminel sur une table forte recouverte de caoutchouc, et trouée sur les bords, pour le passage des liens ; le criminel serait ainsi ligoté : une électrode serait insérée dans la table au niveau du contact avec l'épine dorsale, la tête étant placée dans un casque en contact avec une autre électrode. Les rhéophores pourraient être reliés au dynamo à travers un couloir ou une autre pièce et l'appareil destiné à fermer le circuit serait fixé le long du mur (mouvement d'horlogerie pour

ouvrir et fermer le circuit, selon l'idée de M. Elbridge T. Gerry, président de la commission ; machine à vapeur portative, de 3 chevaux, avec dynamo muni d'un petit excitateur, selon l'idée de M. P. Brown. La disposition des électrodes mentionnée plus haut, permet la diffusion du courant, dès son arrivée, dans la plus grande partie du cerveau et dans la moëlle allongée. Les électrodes, en métal, devaient avoir un diamètre de 1 à 4 pouces, recouvertes d'éponge mouillée avec une solution chaude de chlorure de sodium. Les cheveux du criminel seraient mouillés également. Le courant à adopter était un alternatif de 1.000 à 1.500 volts, suivant la résistance du criminel ; courant à 300 interruptions par seconde, et devant être appliqué de 15 à 30 secondes pour amener la mort. C'était, en effet, d'après les expériences sur animaux, avec le courant interrompu, la mort sans lutte, alors qu'avec le courant continu elle était précédée de hurlements et de convulsions. La méthode électrique fut appliquée la première fois le 9 janvier 1889, sur un condamné nommé Retzel qui avait assassiné sa femme. La nouvelle loi qui supprimait la mort par pendaison dans l'Etat de New-York et qui la remplaçait par l'électrocution devait entrer en vigueur le 1^{er} janvier..

Le docteur Carlos F. Mac-Donald, présenta le 6 août 1890, au gouvernement de New-York, un rapport sur l'exécution de William Kemmler. Ses conclusions, venant à l'appui des décisions de la commission de 1888, furent la nécessité d'un établissement central spécialement construit pour l'électrocution des condamnés, avec machine et dynamo pouvant développer une force électromotrice de 3.000 volts, le voltage du courant à employer n'étant

ni au-dessous de 1.500 volts, ni au-dessus de 2.000 volts ; avec personnel spécialisé pour prendre le voltage et la résistance électrique du condamné immédiatement avant son introduction dans la chambre.

Ces conclusions sont basées sur l'observation de l'exécution dont il est question. « Cette électrocution, lisons-nous dans le rapport de Donald, a donné de meilleurs résultats que n'en donnent la pendaison, la décapitation « par la hache, la guillotine, la fusillade. Il y a là certainement une euthanasie d'une perfection que ne peuvent donner les anesthésiques et les poisons eux-mêmes. « En un contact sont annihilés instantanément toutes les sensations et la conscience. Au lieu de souffrir de préliminaires terrifiants, la victime de la loi a été tranquillement et confortablement assise dans un fauteuil sans « appareil effroyable sous les yeux. Le criminel n'a pu « se douter qu'il était mourant. » Le courant fut lancé pendant 17 secondes (2.000 volts). Comme la victime présentait de légers mouvements spasmodiques de la poitrine, un deuxième contact fut établi qui détermina l'arrêt du cœur et du pouls ; les pupilles étaient dilatées ; les cornées molles et dépressibles.

L'autopsie, faite 3 heures après la mort révéla la rigidité cadavérique, avec lividités au niveau des parties serrées par les liens. A l'ouverture, emphysème pulmonaire avec taches de Tardieu. Le cœur était vide, d'un poids de 177 grammes. On constata des hémorragies capillaires sur le plancher du 4^e ventricule, dans le cerveau. La mort était probablement causée par la destruction soudaine des éléments cellulaires des centres cérébraux et du sang.

A la fin de 1880, une expérience nouvelle d'électrocution porta sur quatre condamnés, dans la prison de Sing-Sing, à Albany, près New-York. Les électrodes furent appliquées l'une sur le front et les tempes, l'autre à un mollet. Le premier condamné James Slocum fut exécuté en 6 minutes. Le courant fut lancé pendant 37 secondes, puis de nouveau pendant 36 secondes $1/4$ parce que le pouls était fort et la respiration revenait 2 minutes après le premier contact (1.458 v.). A l'autopsie, taches de Tardieu sur les poumons et le cœur, ventricule gauche contracté, ventricule droit flasque. Le docteur Van Giesen rapporte, après examen microscopique, que l'on ne peut reconnaître dans les tissus des modifications dues au passage du courant.

Le second condamné Harris Smiler, reçut un courant de 1.485 volts pendant deux contacts de 10 secondes chacun d'abord, et un troisième de 19 secondes à cause des forts battements du pouls. L'autopsie révéla des lésions identiques à celles du corps de Slocum.

Le troisième condamné, Joseph Wood, fut exécuté par une série de 3 contacts de 20 secondes chacun. Mêmes lésions à l'autopsie.

Le quatrième, Schichioek Jugigo, reçut un courant avec 3 contacts successifs de 15 secondes chacun, séparés par deux intervalles de 20 secondes. A l'autopsie, cœur en diastole, rempli de sang fluide, foncé ; poumons congestionnés ; quelques vaisseaux dilatés dans la moitié inférieure du plancher du 4^e ventricule. Il s'agit dans ces quatre cas de courant alternatif ; mais la fréquence n'est pas mentionnée.

Le 7 décembre 1890, eut lieu l'exécution de Martin Lopy avec un courant de 1.716 volts, en 4 contacts d'une du-

rée totale de 52 secondes. La mort fut instantanée et sans douleur. Le docteur Van Giesen ne trouva à l'autopsie ni altération chimique ni morphologique des tissus.

Pour les électrocutions de Rice et de Mac Elvame, Edison fit remplacer les électrodes ordinaires par des vases avec solution saline, par l'intermédiaire desquels les condamnés recevaient le courant mortel. Mais un insuccès fut le résultat de ce système.

D'une manière générale, on constate chez tous ces électrocutés, au moment de l'établissement du courant, une contraction tétanique intense et générale qui fige et raidit l'électrocuté, s'accompagnant d'un cri qui semble dû plus à la brusque contraction du diaphragme qu'à la douleur. L'inhibition est immédiate, la respiration est suspendue, entraînant l'asphyxie ; toutefois, le pouls reste fréquent, fort et régulier, ou tout au moins encore perceptible, ce qui indique que le cœur n'est pas mort. La sensibilité et le sensorium semblent bien inhibés. Mais il semble que la mort survient faute de soins propres à réveiller le cœur et le jeu des poumons.

Toutes ces observations d'électrocution employée en Amérique comme peine capitale ne nous apportent évidemment pas des renseignements très précis en ce qui concerne la mort du cœur. Leur valeur est documentaire, mais la réflexion qui s'en dégage est intéressante au point de vue médico-légal. Nous avons dit, dans le précédent chapitre, combien serait utile la prise de l'électrocardiogramme dans les cas de mort apparente. — N'avons-nous pas là des exemples de mort apparente ? — D'Arsonval et plusieurs autres électro-physiologistes éminents d'Europe s'élèverent contre l'électrocution employée comme peine ca-

pitale. Ils n'admettent pas que les courants employés puissent tuer sûrement les condamnés à mort. Et nous relevons dans les observations citées plus haut la nécessité de reprendre un contact, après application d'un premier, et de prolonger sa durée. Evidemment, les médecins assistant aux électrocutions judiciaires citées ne s'attachèrent pas trop à cette question de la mort apparente dans le but de la combattre, puisqu'il s'agissait là de condamnés à mort. Ils établirent au contraire plusieurs fois le contact pour obtenir une mort définitive ; et encore, comme le disait ironiquement d'Arsonval « la peur de voir leurs victimes ressusciter explique aisément la hâte avec laquelle les « médecins qui dirigent les exécutions procèdent aux autopsies. »

Nous avons demandé en Amérique, des renseignements, sous forme d'un questionnaire qui portait notamment sur les recherches expérimentales relatives aux électrocutions légales, indiquant dans quelles conditions la mort se produit ou non, et, dans l'affirmative, s'il s'agit d'une mort par le cœur. Mais la réponse ne nous étant pas parvenue à temps, nous regrettons de ne pouvoir mentionner ici des indications précises sur la mort du cœur dans l'électrocution, à l'occasion de l'exécution des condamnés.

Il résulte cependant des recherches d'électro-pathologie, que l'on peut considérer la mort par l'électricité comme étant le plus souvent une mort apparente qui se transforme en mort définitive parce que les électrocutés de toutes catégories ne reçoivent pas des soins appropriés.

Savoir si l'état des électrocutés est dans toutes les circonstances celui de la mort absolue ou si c'est une variation de syncope avec suspension de la respiration con-

duisant vers la mort si elle est abandonnée à elle-même, voilà la question sur laquelle, d'après Cunningham, diffère l'opinion scientifique. Notion importante au point de vue médico-légal, car, si l'électricité produit des accidents, elle peut, ou pourrait être utilisée dans des cas de mutilation volontaire, de suicide et même de crime. Devant de telles considérations, Jellinek dit que les gouvernements des différents pays devraient prendre des mesures convenables destinés à faire ordonner l'autopsie judiciaire de tous les cadavres sans exception, des individus qui ont succombé à une décharge électrique, que celle-ci soit une décharge provenant d'un courant industriel, ou qu'il s'agisse d'électricité atmosphérique.

CHAPITRE II

Le traitement des électrocutés et le massage cardiaque

Devant les accidents encore trop nombreux dûs à l'électricité, la protection s'impose et elle est actuellement assez bien réalisée. C'est, dans l'emploi domestique, l'installation de divers appareils faite par des ouvriers expérimentés, qui assurent un isolement efficace des contacts et des fils conducteurs. Dans les usines, le danger est grand par la présence de générateurs électriques puissants, des fils parcourus par des courants dangereux, des tableaux de distribution. On a employé des gants isolants pour protéger les ouvriers des contacts, mais la difficulté d'assurer une bonne conservation de ceux-ci par leur solidité, les rend d'une utilité secondaire ; et le moyen le plus efficace est l'isolement de l'ouvrier du sol, soit que celui-ci soit pourvu de semelles, soit que le sol ait été recouvert de substances isolantes. A l'extérieur, la protection contre les lignes aériennes à haute tension est assurée par l'emploi d'isolateurs ajustés sur des pylônes élevés ; ceux-ci portent indication du danger de mort à toucher les fils. Des filets sont interposés entre les lignes à haute tension et les lignes télégraphiques ou téléphoniques, aux points où elles se croisent.

Malgré ces précautions on voit se produire des accidents graves, le plus souvent mortels. La mort étant généralement le résultat de l'inhibition générale, car, dans la pratique, ce sont les courants de haute tension qui attei-

gnent plus facilement la victime, on donne, dans les postes de secours, ce conseil de traiter les électrocutés comme des noyés. La victime en effet peut être ramenée à la vie quand le cœur n'a pas été paralysé définitivement par le courant. Il faut pratiquer la respiration artificielle, souvent pendant plusieurs heures, et on masse le cœur pendant que les autres moyens de lutte contre la syncope sont mis en œuvre, à savoir l'inhalation d'oxygène et des frictions pour ramener la circulation.

Il semble, d'après des expériences récentes que les tractions rythmées de la langue n'aient pas pour les électrocutés toute la valeur qu'elles ont chez les noyés ou dans les divers états de syncope. Nous n'insisterons pas sur les méthodes de respiration artificielle ; c'est celle de Sylvester qui est pratiquement à employer ; par contre le massage cardiaque mérite d'être étudié.

Les principes concernant le massage du cœur sont les mêmes pour toutes les conditions dans lesquelles il est appliqué. La fonction essentielle du massage est de créer une circulation artificielle, quand le cœur devient incapable, soit de se contracter rythmiquement, soit de donner des contractions assez fortes pour assurer le mouvement du courant sanguin central et périphérique. On masse le cœur, ce n'est pas un massage du tissu musculaire cardiaque qui est recherché, mais c'est une compression rythmique de cet organe, pour essayer de rétablir l'activité de cette « pompe », élément efficace pour chasser avec une force suffisante le contenu des deux ventricules. Le succès du massage cardiaque est en relations avec la respiration artificielle ; il faut que ces deux facteurs interviennent ensemble pour obtenir toute leur valeur.

Gun et Martin, en 1915, ont préconisé le massage interrompu par de courtes pauses. La limite de temps entre l'apparition de la syncope et le commencement du massage est dicté par le temps pendant lequel les centres nerveux peuvent rester privés de sang ; si celui-ci est trop long des symptômes nerveux apparaissent, tétanos, rigidité, incontinence d'urine et signes d'irritation cérébrale, d'un pronostic fatal.

Van Zieten a préconisé une méthode de massage indirect. Elle consiste à refouler à pleine main le 5^e espace intercostal gauche 70 fois par minute ; cette manœuvre a pour but d'exciter mécaniquement le myocarde dans le collapsus simple ; mais quand le cœur a perdu son excitabilité mécanique (électrocution) le massage direct doit être seul considéré comme efficace.

Prendre à pleine main le cœur pour en exprimer le contenu, amener ainsi la circulation artificielle, pratiquer en même temps l'insufflation pulmonaire pour ramener le jeu des poumons, réalisant ainsi une oxygénation suffisante du sang circulant, tel est le principe du massage cardiaque.

Comment a-t-on alors accès au cœur ? Dans un certain nombre de cas rapportés de la pratique du massage le cœur a été mis à nu par la résection des cartilages costaux et l'ouverture du péricarde. La méthode de Bost and Neve consiste en une incision abdominale ; à travers celle-ci, les insertions du diaphragme au bord costal gauche sont coupées sur deux centimètres et on introduit la main droite dans la cavité. Cette méthode transdiaphragmatique a été également préconisée par Mauclair. On a pu comprimer le cœur entre la main et le sternum à travers

le diaphragme ; mais ceci n'est valable que quand on peut intervenir dès l'arrêt du cœur, dans les cas de syncope opératoire, par exemple : nous allons examiner ce point en prenant comme type de syncope la syncope chloroformique.

Celle-ci se présente sous deux formes. Dans la première, due à une dose trop forte le cœur et la respiration sont affectés par un excès de chloroforme. La respiration cesse d'abord, puis le cœur suit, en partie par l'effet du chloroforme, en partie par le manque d'oxygène. La fonction du cœur n'est cependant pas totalement suspendue par une forte dose, et il continue à battre, faiblement il est vrai, mais cependant suffisamment pour maintenir la circulation pulmonaire et coronaire. La respiration artificielle peut ainsi restaurer les battements cardiaques, d'abord en suppléant à l'oxygène manquant et nécessaire et ensuite en provoquant l'évaporation de l'excès de chloroforme. La deuxième forme de la syncope chloroformique consiste en une syncope cardiaque primitive. Là, le centre respiratoire n'est pas déprimé par le chloroforme et les mouvements respiratoires continuent un moment après l'arrêt du cœur, tout en diminuant ; le cœur n'est pas non plus déprimé ; il tombe soudainement par l'apparition de la fibrillation ventriculaire au cours de sa pleine activité. Quelquefois les mouvements respiratoires sont exagérés immédiatement avant leur cessation ; quelquefois il y a un spasme de tout le cœur ; une pâleur soudaine et une dilatation extrême des pupilles, aident aussi pour identifier cette forme de syncope.

En aidant la circulation artificielle par le massage, en même temps que la respiration artificielle est pratiquée,

en continuant le massage suffisamment longtemps, les mouvements fibrillaires sont remplacés par les battements normaux. D'après le docteur A. G. Lévy, si la réapparition n'a pas été obtenue après 5 minutes de massage continu, celui-ci doit être interrompu par une pause d'environ 15 secondes. La pause apparaît comme reposant le muscle de l'influence dépressive de la manipulation.

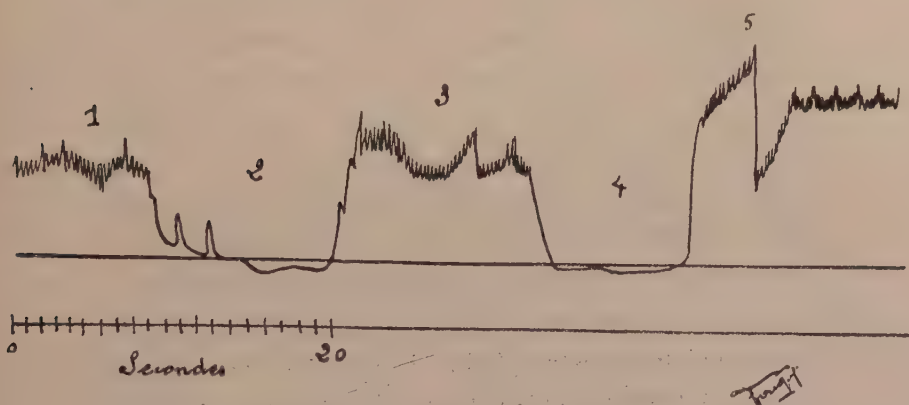


FIG. 3. — Massage combiné avec la respiration artificielle (d'après A. G. LÉVY).
Massage 1 et 3. — Pâuses 2 et 4. — Reprise caractéristique 5.

Le docteur Lévy, expérimentant sur 29 chats, conclut que le massage doit durer 1 à 48 minutes.

En ce qui concerne la mort du cœur par l'électrocution, que nous pouvons maintenant, d'après nos connaissances considérer comme une variété de syncope, le massage du cœur tel qu'il a été décrit au commencement de ce chapitre est applicable, car il existe une difficulté nette, nous l'avons vu, à diagnostiquer l'arrêt du cœur. A ce propos, M. d'Halluin expose une méthode qui doit être jointe à la disparition du pouls et au silence du cœur.

Elle consiste dans l'instillation de dionine ou d'éther dans l'œil. L'éther est préférable, parce qu'il est un médicament plus facile à trouver, plus à portée en cas d'urgence, et qu'il a une action stimulante sur le centre respiratoire : son action irritante est pratiquement nulle. Si le cœur est arrêté on n'observe rien. Si le cœur bat, même faiblement, on observe une rubéfaction du globe oculaire, facile à voir en comparant avec l'autre œil ; la victime doit être en position horizontale ; il faut à ce moment là s'abstenir de toute intervention, car les compressions rythmiques du thorax peuvent réaliser une circulation artificielle suffisante pour injecter l'œil même si le cœur ne bat pas. Si l'on croit que les oreillettes, *ultimum moriens*, suffisent pour donner une réaction, l'auteur préconise l'épreuve du stylet, dont nous avons déjà parlé.

Quels sont donc les effets du massage cardiaque dans toutes ses applications ? Celui-ci peut, dans la mort par asphyxie provoquer l'apparition des trémulations, et, quand le cœur s'est arrêté en trémulant, elles réapparaissent fatalement. Voilà, semble-t-il, l'affirmation de l'impossibilité du succès du massage ; succès possible, pourtant, si on agit directement sur les trémulations fibrillaires par une thérapeutique dirigée contre elles ; le problème toutefois persiste. En effet, en dehors de l'arrêt du cœur, en ce qui concerne purement cet organe, il faut considérer que l'anémie qui résulte de cet arrêt n'existe pas sans créer, surtout si elle se prolonge, des troubles graves dans les autres organes. Depage a observé un cas de survie de neuf jours, en ranimant un malade par un massage du cœur de 48 minutes, commencé 15 minutes après le début de la syncope ; et chez ce malade, René Sand a relevé des

lésions importantes des cellules nerveuses et des éléments nobles des principaux viscères. Une statistique publiée en 1913 relève 75 cas de massage cardiaque chez l'homme dans les syncopes opératoires, pratiqué 2 à 5 minutes après le début des accidents ; un cas fut pratiqué 15 minutes après ; on observe 22 0/0 de succès définitif, 22 0/0 de réviviscences transitoires, avec une survie de 4 heures.

La difficulté de faire réapparaître le mouvement rythmique dans un cœur qui a tremulé sous l'influence d'un courant électrique de bas voltage, a fait diriger les recherches dans le but de créer une thérapeutique spécialement dirigée contre les trémulations. Nous avons signalé au début de ce travail la propriété remarquable des courants alternatifs à haute tension, 2.400 volts, allant de la tête aux pieds, de faire réapparaître le rythme dans le cœur trémulant ; cette observation résulte des expériences de Prévost et de Batelli. Le cœur d'un chien mort avec un courant continu de 50 volts allant de la tête à l'anus, retrouve son rythme, par arrêt des trémulations, si avant 15 minutes on lance un alternatif de 1.200 à 4.800 volts ; il est entendu que la respiration artificielle devient ici nécessaire, par suite de l'impression des centres nerveux au passage de ce nouveau courant. De même la restauration du rythme est possible avec un courant plus faible, à la condition qu'une électrode soit directement appliquée sur le cœur. Mais ce mode de traitement est difficilement réalisable dans la pratique et il semble d'autre part que l'efficacité de cette méthode soit inconstante chez l'homme

Cunningham a employé sur des chiens la méthode de Porter qui consiste essentiellement dans la transfusion dans les vaisseaux coronaires du cœur, de sang chaud dé-

fibriné de chien, dilué avec 0.8 pour cent de solution saline ; par ce moyen il a fait rebattre rythmiquement des cœurs de chiens en fibrillation, les contractions coordonnées se produisant pendant une heure, et cessant seulement alors à cause de l'arrêt de la circulation artificielle. Cet auteur conclut que le fait que le cœur d'un chien électrocuté peut retrouver les contractions coordonnées si l'on restaure la circulation artificielle, désapprouve l'idée que la substance musculaire a été paralysée ou tuée par le courant.

M. d'Halluin a préconisé, pour combattre les trémulations fibrillaires, l'association, au massage qui doit rétablir la circulation, d'une injection intra-veineuse d'une solution de 5 0/0 de chlorure de potassium, poussé brusquement dans la veine jugulaire externe, à la dose de 4 cc. par kil. d'animal. Il y a, dit-il « un arrêt instantané des trémulations ». — Mais il faut continuer le massage, parce que le chlorure de potassium est un poison de la fibre musculaire cardiaque et qu'on dilue ainsi le poison dans le sang. La réapparition des contractions normales a lieu 10 à 20 minutes après. Il faut alors suivant les difficultés de la réviviscence faciliter la restauration cardiaque par une injection intra-veineuse de chlorure de calcium. L'auteur a démontré ce fait en 1904, au VI^e congrès de physiologie de Bruxelles, en présence de Batelli. Il tua un chien par asphyxie ; le massage cardiaque pratiqué 10 minutes après amena des trémulations. L'injection de chlorure de potassium amena un rythme d'abord faible qui devint bientôt normal grâce à une injection de chlorure de calcium. Batelli demanda de nouveau l'application d'un courant induit. De nouvelles trémulations apparurent.

On pratiqua une deuxième injection intra-veineuse ; les trémulations s'arrêtèrent pour la deuxième fois, nouvelle restauration du cœur.

Nous n'exposerons pas dans le détail les recherches faites sur la toxicité du chlorure de potassium, mais il résulte de celles-ci qu'une dose de 20 centigrammes, si elle peut être nocive pour le myocarde, ne l'est plus quand elle est diluée dans la masse sanguine. Et elle est précisément diluée par l'établissement de la circulation artificielle.

Sans doute, les seuls moyens actuellement pratiques pour le traitement des électrocutés sont ceux que nous avons exposés au début de ce chapitre ; l'emploi de la haute tension pour combattre les trémulations dans le cas d'électrocution à bas voltage, l'application du massage cardiaque, sont, le plus souvent, à cause des circonstances, d'une réalisation difficile ; mais les injections de chlorure de potassium paraissent avoir une efficacité certaine sur les trémulations, ce grand écueil du rappel à la vie des électrocutés. D'autre part, des difficultés encore grandes dépendant de facteurs tels que le temps, le lieu, la technique, l'habileté, limitent l'emploi de ce traitement « audacieux » de la mort du cœur qui consiste à ouvrir le thorax de la victime pour aller saisir le cœur ; mais ce ne sont point là des considérations qui doivent arrêter les recherches, et, en présence des victimes de l'électricité, dont beaucoup constituent des cas désespérés, ne vaut-il pas mieux, au lieu de se décourager, tout essayer, en vue de la résurrection possible du cœur ?

CONCLUSIONS

I. — L'électricité à dose trop forte produit dans l'organisme des troubles graves et peut même amener la mort. Le courant alternatif, dont le danger est maximum pour une fréquence comprise entre 50 et 150 périodes, est plus dangereux, à intensités égales, que le courant continu.

II. — Les phénomènes dûs à l'électricité sont : 1° d'ordre local : brûlures diverses plus ou moins graves ; 2° d'ordre général : perte de connaissance, sensibilité et sensorium inhibés, troubles graves respiratoires et cardiaques.

III. — Les courants à haute tension (1.200 à 1.800 volts) tuent par inhibition des centres nerveux. Les courants à basse tension tuent par arrêt primitif du cœur, provoquant l'apparition des trémulations fibrillaires.

IV. — Les trémulations fibrillaires sont des contractions incoordonnées, petites et rapides, à direction générale verticale et horizontale, se produisant dans les ventricules sous l'influence d'un courant nocif. Elles sont incompatibles avec la reprise des contractions rythmiques du cœur. Les mouvements fibrillaires des oreillettes produits sous l'influence de la faradisation, sont de forme ondulatoire, et compatibles avec la reprise de la contraction auriculaire normale.

V. — L'électro cardiogramme enregistre, dans l'agonie du cœur, des mouvements qui ne sont plus perceptibles par les méthodes d'exploration manuelle, visuelle et audi-

tive. Son emploi serait donc d'un grand intérêt au point de vue médico-légal, s'il pouvait passer dans la pratique, pour aider au diagnostic différentiel entre la mort apparente et la mort réelle.

VI. — L'électrocution a été appliquée en Amérique comme moyen légal d'exécution des condamnés à mort. On ne peut pas affirmer que les électrocutés soient tués par le passage du courant alternatif à haute tension car on a dû établir, à plusieurs reprises, le passage du courant pour porter le diagnostic de la mort.

VII. — Le massage cardiaque, associé à la respiration artificielle et aux injections de chlorure de potassium paraît avoir donné de bons résultats dans le traitement des électrocutés. Au laboratoire, nous avons obtenu, par le massage seul ou associé aux injections, chez 3 sujets, la réapparition des trémulations sur le cœur immobile, mais nous n'avons jamais obtenu la reprise du mouvement rythmique, quelle qu'ait été la durée du massage.

Vu :

Le Doyen,

JEAN LÉPINE.

Vu :

Le Président de la Thèse,

J. CLUZET.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 1^{er} Décembre 1921.

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université :

JOUBIN.

BIBLIOGRAPHIE

Annales d'hygiène publique et médecine légale :

1^o Rapport présenté à la Société médico-légale de New-York sur l'électrocution des criminels. 3^{me} Série. Tome XXI, 1889. N^o 2.

2^o Exécution de William Kemmler. D'après : *The Annales of medical sciences*, Septembre 1891. 3^{me} Série. Tome XXVI, 1891. N^o 6.

American (The) X Ray Journal. 1897. *Electrocution and what causes electrical death*.

ARLOING. — Contribution à la connaissance de l'action des courants électriques continus à haut voltage chez les chevaux. - *Journal de physiologie et pathologie générale*. 1902, page 967.

BESSON. — Les brûlures par l'électricité. - *Archives internationales de médecine légale*, 1910. Suppl. page 284.

BIRAUD. — La mort et les accidents causés par l'électricité. Thèse de Lyon, 1892.

BOST (T. C.) AND NEVE (A.). — Méthode d'accès au cœur pour le massage. *The Lancet*, 1918. II, p. 552.

BROCA (A.). — Souvenir d'un électrocuté. - *Revue scientifique*, 1901, p. 621.

CAPOGROSSI (A.). — Contribution à l'étude des caractères anatomo-pathologiques de la mort par l'électricité. - *Archives internationales de médecine légale*, Octobre 1910.

CASTEX. — Précis d'électricité médicale.

CLUZET (J.) ET PETZÉTAKIS. — L'électro-cardiogramme pendant l'anesthésie ; modifications provoquées par le chloroforme. - *Lyon Médical*, 25 Janvier 1914.

CLUZET (J.). ET PETZÉTAKIS. — Etude expérimentale et électro-cardiographique du reflexe oculo-cardiaque. - *Lyon Médical*, 15 Février 1914.

CLUZET (J.). — Précis de physique médicale (physique, biologique, radiologie et physiothérapie). - 2^{me} édition,

- CLUZET (J.). ET MAZEL. — *L'électro-cardiogramme et la mort réelle. Communication au VI^{me} Congrès de médecine légale de langue française. Liège, Juin 1921.*
- CORRADO. — *Di alcune alterazioni della cellulo nervosa nella morte per elettricità. Naples, 1898.*
- CRITZMANN. — *Analyse de la publication du Dr Julius Kratier sur : Des Tod durch elektrizität (la mort par l'électricité). Leipzig und Wien, 1896. - Annales d'hygiène publique et de médecine légale. 3^{me} Série. Tome XXXIV, 1895, N^o 6.*
- CUNNINGHAM. — *The cause of death from industrial electric currents. - New-York Medical Journal, 1899. Vol. LXX.*
- CULOT. — *Accidents causés par l'électricité industrielle. - Thèse de Lille, 1913.*
- D'ARSONVAL. — *Bulletin de la Société internationale des électriciens. - 6 Avril 1892.*
- D'HALLUIN. — *L'électricité qui tue. - Journal de Radiologie et d'Electrologie. Tome IV, 1920. N^o 6.*
- DONALD (MAC). — *The infliction of the death penalty by means of electricity. - Medico legal Journal New-York. Mars 1888.*
- DOULIN. — *The pathology of death by electricity. - New-York Medical Journal. Mars 1908.*
- FISCHL (F.). — *Zur Kenntnis der Unfälle durch Elektrizität. - W. Kl. W., 1913. N^o 36.*
- FLEURY. — *Annales d'hygiène publique et de médecine légale. - Paris. Avril 1914, p. 361.*
- GLEY. — *Traité de physiologie. - Pages 363 et suivantes.*
- GRANGE. — *Des accidents de l'électricité dans son emploi industriel. - Annales d'hygiène publique et de médecine légale. 1885.*
- GUNN (J. A.) ET MARTIN (P. A.). — *Journal of Pharmacy and experimental therapeutie. 1915. VII, p. 31.*
- JELLINEK. — 1^o *Der Tod durch Elektrizität. - Archives internationales de médecine légale. 1910. Suppl. p. 279.*
2^o *Ueber die Bedeutung der Art und Intensität elektrischer Starkströme bei Einwirkung auf den Tierkörper. W. Kl. W. 1913. N^o 44.*
- JOSUÉ (O.). — *La Séméiologie cardiaque actuelle. - Collection bleu horizon.*
- LEVY (A. G.). — *Le massage cardiaque. - The Lancet. 5 Novembre 1921, p. 949.*

- LEWIS. — *Les désordres cliniques des battements du cœur.*
- OBERST. — *Ueber Verletzungen durch den elektrischen Strom.*
Munch. Med. Woch. 1909. N° 26.
- OLIVER AND BOLAM. — *On the cause of death by elektric shock.*
British Medical Journal. 1898. Vol. I, p. 132.
- PORTER. — *Journal of experimental medicine.* 1897. Vol. II, p. 391.
- PREVOST ET BATELLI. — 1° *Journal de physiologie et pathologie générale.* 1899-1900.
2° *La mort par les courants électriques ; courant alternatif.* - *Journal de physiologie et pathologie générale.* 1899, pages 339 et 427.
- RICHEL. — *Dictionnaire de physiologie.* - Articles : *Cœur, Fulguration, Trémulation, Rythme.*
- SCHILD ET DELÉPINE. — *The post mortem appearances in a case of death by electricity.* - *British Medical Journal.* 1885.
- STANTON ET KRIDA. — *Les causes de la mort par le choc dû aux courants électriques industriels.* - *Medical Record.* 19 Novembre 1910, p. 896.
- TOVO CAMILLO. — *Contributo allo studio della morte per corrente elettrica a basse tensione.* - *Arch. d'Antrop. Crim. - Psych. e Med. legale,* 31, 1910. N° III.
- TATUM. — *Death from electrical current.* - *New-York Medical Journal.* 1890, p. 207.
-

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	Page 9
Introduction	» 11

PREMIÈRE PARTIE

Chapitre I. — Historique	» 13
Chapitre II. — De la vie et de la mort du cœur	» 21
Chapitre III. — Comment on meurt par l'électricité	» 31

DEUXIÈME PARTIE

Chapitre I. — De l'électro-cardiographie en général	» 45
Chapitre II. — a) Technique des expé- riences d'électrocution	» 51
b) Observations	» 56

TROISIÈME PARTIE

Chapitre I. — Considérations médico- légales	» 61
a) De la valeur médico-légale de la méthode électro-cardiographique.	» 61
b) De l'électrocution légale en Amé- rique	» 67
Chapitre II. — Le traitement des électro- cutés et le massage cardiaque	» 75
Conclusions	» 85
Bibliographie	» 87
